



Lojistik Maliyetlere Göre Teslim Tarihi Belirleme ve Bir Karar Modeli Önerisi

Cemal Aktürk^{1*}

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kilis, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3764-3862)

(İlk Geliş Tarihi 18 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 19 Nisan 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.541481)

ATIF/REFERENCE: Aktürk, C., (2019). Lojistik Maliyetlere Göre Teslim Tarihi Belirleme ve Bir Karar Modeli Önerisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 1-7.

Öz

Siparişe göre üretim yapan firmalarda siparişlerin teslim tarihi belirleme süreci iyi yönetilmediği durumlarda çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır. Müşterilerin sipariş talebine karşılık olarak üretici tarafından teklif edilen sipariş teslim tarihi, hem müşteriye memnun etmeli hem de üretici firmanın kârlılığını korumalıdır. Müşteriler tarafından talep edilen teslim tarihleri ile firmaların önerdiği teslim tarihlerinin arasındaki zaman farkının beklentileri ve planlamaları aşması durumunda tedarik zinciri içerisinde çeşitli anlaşmazlıklar ve maliyetler ortaya çıkmaktadır. Siparişleri talep tarihinden geç üretmenin getirdiği anlaşmazlıklara ek olarak, talep tarihinden erken üretilerek stokta bekletilen ürünler için de hesaplanmayan çeşitli lojistik maliyetler doğmaktadır. Depolama, elleçleme ve vade farkı tutarları bu maliyetlerden bazılarıdır. Depolama maliyetleri; depo kirası ile ürün sigorta bedellerinden oluşur. Elleçleme maliyeti bekletilen sipariş için fazladan yapılacak yükleme ve boşaltma işleminde harcanan işçilik ücreti ve iş makinelerinin tüketimlerini kapsar. Vade farkı ise hammadde için vaktinden önce ödenen sermaye gideri üzerinden hesaplanır. Yapılan çalışmada, bu maliyetler ayrıntılı olarak denklemlerle ifade edilmiştir. Sonrasında önerilen doğrusal fonksiyonlar ile lojistik maliyetler için amaç fonksiyonu tanımlanmıştır ve amaç fonksiyonuna göre sıralanarak üretilecek siparişler için ortaya çıkan maliyetler gösterilmiştir. Ayrıca bu maliyetlerin ürün fiyatına yansıtılması veya işletmenin kârlılığını düşürmemesi için üretici ve müşteri arasında hem teslim tarihi hem de ürün fiyatı üzerinden pazarlık yapmanın sözkonusu olabileceği vurgulanmaktadır. Önerilen karar modeli, daha önce teslim tarihi çalışmalarında dikkat edilmeyen, lojistik maliyetleri içerdiğinden dolayı yeni ve farklı bir yaklaşım sunmaktadır. Bu sayede çalışmada önerilen karar modeli herhangi bir yazılım geliştirme ortamında programlanarak satış pazarlama birimleri için kritik kararları vermede yardımcı olacak yararlı karar destek sistemleri geliştirilebilir. Ayrıca sonraki çalışmalar için araştırmacılara lojistik maliyetleri de içeren karar destek sistemleri için yeni bir yol açılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karar Destek Sistemi, Teslim Tarihi, Lojistik Maliyetleri, Stok Maliyeti.

Determination of Due-Date and A Decision Model Proposal By Logistics Costs

Abstract

According to the make-to-order companies, when the due date determination process is not managed well, various problems are encountered. The order due date offered by the manufacturer in response to the customers' order request should both satisfy the customer and protect the manufacturer's profitability. In case the time difference between the due dates requested by the customers and the due dates suggested by the companies exceed the expectations and planning, various disputes and costs occur within the supply chain. In addition to the disputes caused by the late production of orders, there are various logistic costs which are not calculated for the products which are produced in stock and which are kept early in the demand date. Storage, handling and overdue amounts are some of these costs. Storage costs consist of warehouse rent and product insurance costs. The cost of handling covers the labor costs spent on loading and unloading, as well as the consumption of work machines. The overdue amount is calculated over the

* Sorumlu Yazar: Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kilis, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3764-3862, cakturk@kilis.edu.tr

pre-paid capital expense for raw materials. In this study, these costs are expressed in detail by equations. The objective function for the proposed linear functions and logistics costs is then defined and the costs for the orders to be produced are listed according to the objective function. Furthermore, it is emphasized that both the due date and the price of the product can be negotiated between the manufacturer and the customer in order to reflect these costs to the product price or not to decrease the profitability of the enterprise. The proposed decision model offers a new and different approach because it contains logistics costs which are not considered in the studies of the due date. In this way, the proposed decision model in the study can be programmed in any software development environment and useful decision support systems can be developed to assist in making critical decisions for sales marketing units. In addition, a new way for the decision support systems, including logistics costs, is opened to researchers for subsequent studies.

Keywords: Decision Support System, Due Date, Logistics Costs, Inventory Cost.

1. Giriş

Üretim işletmeleri, ürünlerini ya müşteri taleplerini karşılamak için siparişe göre üretirler ya da belirli bir satış öngörüsü ile üreterek stok yaparlar. Bu üretim yöntemi sektöre ve ürüne göre değişiklik gösterebilir. Örnek vermek gerekirse her müşteriye hitap eden, belirli bir pazarlama ağı olan ürünler önceki dönemsel satış miktarları göz önünde bulundurularak tahmini satış miktarları hesaplanıp bu miktara göre üretilip stoklanırken, müşterinin isteğine göre değişkenlik gereken ürünlerde bu yolu izlemek risklidir. Çünkü bir müşterinin talep ettiği ürün özelliklerini bir başka müşteri kabul etmeyebilir. Ayrıca son kullanma tarihine sahip ürünlerin üretildikten sonra stokta beklemesi de ürünün bozulma ihtimaline karşın oldukça riskli bir durumdur. Bu tür ürünlerde sektörün pazar talebinin takip edilmesi oldukça önemlidir.

Siparişe göre üretim yapan firmalar, kendilerine gelen müşteri taleplerini değerlendirirken tedarik zincirindeki tüm süreçleri göz önünde bulundurarak müşterilerine bir teslim tarihi önerirler. Bu teslim tarihini sunarken siparişe konu ürünün stok durumu, eksik miktarlar için hammadde ihtiyacı ve hammadde termin süresi, üretim süresi ve sevkiyat süresi gibi süreçler iyi hesaplanmalıdır. Sonuç olarak müşterilere sunulacak ürün teslim tarihi, müşterinin beklentisini karşılamalı ve memnuniyetini sağlamalıdır. Ayrıca müşterinin talep ettiği tarihten daha önce bir tarih için ürünleri üretmek de işletmeye çeşitli maliyetler ve riskler getirecektir. Çünkü talep tarihinden önce hazır hale getirilen ürünler; depolama, elleçleme (yükleme-boşaltma), erken hammadde temininden dolayı karlılığın azalması vb. birçok lojistik maliyetleri de beraberinde getirir. Yapılan satışın gelire ve kara dönüşmesi beklenirken bu şekilde öngörülme maliyetler işletmeye gizli maliyetler getirdiğinden dolayı genel olarak işletmelerin karlılığını doğrudan etkiler.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, siparişler için teslim tarihleri hesaplanırken talep edilen tarihe göre erken ve geç durumda kalan teslim tarihlerinin her zaman bir maliyet de ürettiği gözlenmektedir. Hatta bazı durumlarda gelen siparişler, kabul veya ret kararı verilmeden önce değerlendirilir ve kârlı bulunan siparişler kabul edilir. Guhic ve arkadaşları (2015), müşterilerden gelen siparişlerin talep edilen tarihe göre değerlendirilip karlı bulunması durumunda kabul edildiği, diğer durumlarda ret kararı verildiği olasılık tabanlı bir karar modeli geliştirmiştir. Bir başka çalışmada araştırmacılar tüm işlerin gecikmesinden kaynaklanan toplam ceza değerini iyileştirmek için yaptıkları çalışmada en uzun işlem süresinin ilk önce üretilmesi yöntemiyle en az ceza değerini elde etmişlerdir (Jagan vd., 2015). Demir ve arkadaşları (2015) ise çizelgeleme çalışmalarında hem erken hem de geç kalan teslim tarihleri için siparişlerin cezalandırmalarını varsaymışlardır. Low ve arkadaşları (2015) ise çalışmalarında planlı bakım periyotlarını da göz önünde bulundurarak her işin tamamlanma zamanlarının mutlak sapmalarını minimize etmeyi amaçlamışlardır. Aynı ekip bir diğer çalışmalarında hem toplam erkenliliği hem de toplam gecikmeyi minimize etmeye çalışmıştır (Low vd., 2016), çünkü bir siparişi vaktinden erken teslim etmek veya üretip bekletmek de çeşitli maliyetler doğurmaktadır. Bir diğer çalışmada çift teslim tarihi kullanılarak geciken işlerde gecikilen süreye göre iki farklı gecikme maliyeti uygulanıp toplam ağırlıklı gecikme azaltılmaya çalışılmıştır (Çakar vd., 2015). Baker ve Trietsch (2015), sıralanan işlerin geç kalmaması amacıyla stokastik tem makineli bir model için formül çalışması geliştirmiştir. 2016 yılında yapılan bir çalışmada ise pazarlama, planlama ve lojistik birimlerinin tüm faaliyetleri birlikte değerlendirilerek gecikme ile ilgili maliyetlerin azaltılması sorunu araştırılmıştır (Assarzadegan ve Barzoki, 2016). Teslim tarihi atama problemi yine maliyet odaklı çalışılmış olup toplam geciken iş sayısı ve teslim tarihi atama maliyetlerinin minimize edilebileceği gösterilmiştir (Shatbay vd., 2016; Zhao, 2016; Drwal, 2018). Bir diğer çalışmada teslim tarihi performans kriterleri olarak gecikme, görel gecikme, zamanlama güvenilirliği gibi parametrelerin birbiri arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir (Schäfer vd., 2016). Li ve Chen (2017) tek makineli bir planlama ortamı için teslim tarihi problemine getirdikleri çözüm önerisinde toplam erkenlilik cezalarını içeren bir maliyet fonksiyonunu minimize etmeyi amaçlamışlardır. Bir başka çalışmada yeni eklenen bir siparişin toplam maliyetinin, mevcut iş yükü çizelgesiyle karşılaştırıldığı bir karar mekanizması kullanılarak toplam maliyet azaltılmıştır (Nurainun vd., 2016). Üretim süresinin uzamasına bağlı olarak ortaya çıkan stok maliyeti ve bakım maliyetinin minimize edilmesi çalışılmıştır (Zahedi vd., 2016). Farklı bir çalışmada siparişler en erken bitiş sürelerine göre sıralanarak işlerdeki gecikmenin telafi edilip edilemeyeceği gösterilmiştir (Lödding ve Piontek, 2017). Siparişlerin doğrusal bir fonksiyon ile sıralanarak yapılacak teslim tarihi atamaları ile pazarlama birimleri için inovatif bir karar modeli önerilmiştir (Aktürk ve Gülseçen, 2017). Aynı araştırmacılar tarafından siparişlerin altı farklı karar modeli ile sıralanarak teslim tarihlerinin atandığı çok kriterli ve çok yöntemli bir karar destek sistemi önerilmiştir (Aktürk ve Gülseçen, 2018b).

Lojistik; mal veya hizmet üretimi yapan işletmelerde hammaddenin temin edilerek üretime alınmasından, ürünlerin dağıtım kanallarıyla son kullanıcıya ulaşmasına kadar yapılan tüm faaliyetlerin içerisindeki sevk ve yönetimini sağlayan bir süreçler bütünüdür (Şen, 2014). Başarılı lojistik faaliyetler, maliyetleri düşürür, süreçleri hızlı işletir ve müşteri memnuniyetini sağlar (Ceran ve Alagöz, 2007). Üretim işletmeleri için maliyet açısından incelemek gerekirse, lojistik maliyetler; üretilen veya satılan malların maliyetinden hemen sonra ikinci sırada yer almaktadır (Şen, 2014). Dolayısıyla lojistik maliyetlerin üretim işletmelerinin tüm iş süreçleri içerisindeki payı göz önünde bulundurulursa firmalar maliyetlerini ve kârlılıklarını kontrol edebilir. Bunun için sipariş sıralama, üretim planlama ve sevkiyat gibi tüm iş süreçlerinde yapılacak araştırmalar ve bulunacak yeni yaklaşımlar doğrudan

firmaların maliyetlerini azaltmaya fayda sağlayacağı için aynı zamanda firmaların kârlılıklarını ve pazardaki paylarını arttırmaları için de önem arz etmektedir.

Buraya kadar anlatılan çalışmalara bakıldığında, sipariş sıralama, teslim tarihi atama ve çizelgeleme problemlerinde erken üretilen veya talep tarihine göre geç duruma düşen siparişler için depolama, elleçleme (yükleme-boşaltma) ve hammadde teminindeki vade farkından dolayı oluşan lojistik maliyetlerinin teslim tarihi hesaplamalarında dikkate alınmadığı, amaç veya maliyet fonksiyonlarına dâhil edilmediği gözlemlenmiştir. Bu sebeple yapılan çalışmada, siparişe göre üretim yapan işletmelerin teslim tarihi belirleme problemlerine bir çözüm olarak lojistik maliyetler perspektifinde bir karar modeli önerilmektedir. Bu kapsamda işletmeye gelen siparişler için her siparişin üretim süreleri baz alınıp müşterilerin talep ettikleri teslim tarihleri de dikkate alınarak bir sipariş teslim tarihi hesaplanacaktır. Lojistik maliyetler olarak, hesaplanan teslim tarihlerinin ilgili siparişi talep eden müşterinin talep tarihi ile ilişkilendirilmesi neticesinde erken veya geç durumda kalan siparişler için doğacak depolama, elleçleme ve hammadde temininden doğacak vade farkı maliyetleri kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Karar Modeli Önerisi

Lojistik maliyetlerini oluşturan kriterleri matematiksel model olarak ifade edebilmek adına yapılan literatür araştırmalarında bu maliyetlerin depolama, işgaliye, elleçleme gibi maliyetlerden meydana geldiği anlaşılmaktadır (Ceran ve Alagöz, 2007; Şen, 2014). Bu maliyetlerin günlük hayatta uygulanabilirliği ve gerçek karşılıklarını araştırmak için uluslararası ticaret ve lojistik uzmanı, endüstri mühendisi, muhasebe uzmanı ve işletme yöneticilerinden oluşan beş uzman ile yüzyüze görüşme sağlanmıştır. Yapılan görüşmelerde literatürde lojistik maliyetler olarak sınıflandırılan ve yukarıda bahsedilen maliyetlerin gerçek işletme ortamlarında da geçerli olduğu her bir uzmandan alınan görüşlerle teyit edilmiştir. Dahası, sektöre ve ürüne özel daha farklı lojistik maliyetlerinin de bulunduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Örneğin ithalat-ihracat faaliyeti yürüten üreticilerde üretimin veya sevkiyatın beklemesinden dolayı döviz fiyatlarındaki değişkenliklerden doğacak maliyetler bulunmaktadır. Benzer şekilde gıda üreticileri için ürünlerin belirli bir son kullanma tarihi olduğundan stokta bekleyen ürünler için soğuk hava depolarının çalışma maliyeti ve ürünün bozulma riski bulunmaktadır. Kimyevi madde sınıfında tehlikeli, patlayıcı madde üreten işletmeler için iş güvenliği adı altında depolanan ürünler için ekstra maliyet kalemleri bulunmaktadır. Ancak bu çalışmada belirli bir sektör kısıtında bir çalışma yürütülmediğinden dolayı genel bir model önerisi için bu tür sektöre özel kriterler göz önünde bulundurulmamıştır.

Uzman görüşlerinden elde edilen lojistik maliyet kriterleri, bu maliyetleri yönetebilmek için ayrıntıları Denklem 1’de belirtilen doğrusal F fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Denklem 1’de gösterilen I alt fonksiyonu depolama maliyetini ifade etmek için kullanılmıştır. T fonksiyonu elleçleme maliyetini, M ise hammadde teminindeki vade farkından doğacak maliyeti ifade etmektedir. W_1 , W_2 , W_3 ise bu fonksiyonların amaç fonksiyonu olan F içerisindeki ağırlık katsayılarını belirlemede kullanılır. Ağırlık katsayılarının toplamı 1 olmalıdır. Bu ağırlık katsayıları karar modelinden istifade edecek üreticilerin sektörüne, firmanın yapısına, amaçlarına ve yöneticilerinin görüşlerine göre değişkenlik arz edeceğinden dolayı çalışmada ağırlık katsayılarının değerleri belirtilmemiştir.

$$F(i) = W_1 \cdot I(i) + W_2 \cdot T(i) + W_3 \cdot M(i) \quad (1)$$

Depolama maliyeti (I fonksiyonu) ayrıntıları Denklem 2’de belirtildiği üzere, kendi içerisinde farklı ağırlıklarda ürün sigorta ve işgaliye gibi maliyetleri kapsamaktadır. W_{i1} ’ler alt fonksiyonların ağırlık katsayılarını belirtir ve toplamaları 1 olmalıdır. Her bir sipariş için hesaplanacak depolama maliyetinde G fonksiyonu her bir sipariş için denklem 3’te ayrıntıları gösterildiği gibi hesaplanacak günlük sigortalama maliyetidir. Denklem 3’te gösterilen A; ilgili sipariş tutarını, k; sigorta firmalarından temin edilecek ve teminat tutarını hesaplamada kullanılacak sigorta maliyet katsayısını, d ise ürünün sigortalanan gün sayısını belirtmektedir.

$$I(i) = W_{i1} \cdot G(i) + W_{i2} \cdot S(i) \quad (2)$$

$$G(i) = k \cdot A(i) \cdot d \quad (3)$$

$$S(i) = YUKARIYUVARLA (OQ/UPQ/QCPM2) \cdot P \cdot d \quad (4)$$

Denklem 4’te belirtilen S fonksiyonu ise depolama maliyetlerinden, kiralık depo kullanan üretici için hesaplanan günlük işgaliye bedelidir. S fonksiyonunun parametrelerini tanımlamak gerekirse; OQ; siparişin toplam miktarını, UPQ; her bir birim ambalaja sığan ürün miktarını, QCPM2; kiralanan depoda metrekaşeye düşen istiflenebilecek ambalaj sayısını, P ise kiralanan deponun günlük metrekaşe kira ücretini ifade etmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta OQ/UPQ/QCPM2 ifadesinin sonucunun küsuratlı çıkması durumunda en yakın büyük tamsayıya yuvarlanması gerektiğidir. Bu durum excel programında kullanılan YUKARIYUVARLA fonksiyonu ile denklemde belirtilmiştir.

Teslim tarihinden önce üretilip depolanacak ürün için fazladan elleçleme işlemi yapılacaktır. Bu işlem süreci de gizli bir maliyete sahiptir. Denklem 5’te gösterilen T fonksiyonu fazladan yapılan elleçleme işleminin doğurduğu maliyetleri göstermektedir. Denklem 5 incelenecek olursa; R; dakika cinsinden elleçleme işlem süresini, C; elleçleme işlemiyle işgal olan personel sayısını, E; dakika cinsinden işçilik ücretini, FC ise elleçlemede kullanılan forklift vb iş makinelerin dakikadaki yakıt tüketiminin TL cinsinden ifadesidir. İş makinesinin markasına kapasitesine motor hacmine göre değişkenlik gösteren yakıt tüketimi, ilgili makinenin fabrika verileri üzerinden hesaplanarak dakikadaki tüketimi hesaplanabilmektedir.

$$T(i) = R \cdot (C \cdot E + FC) \quad (5)$$

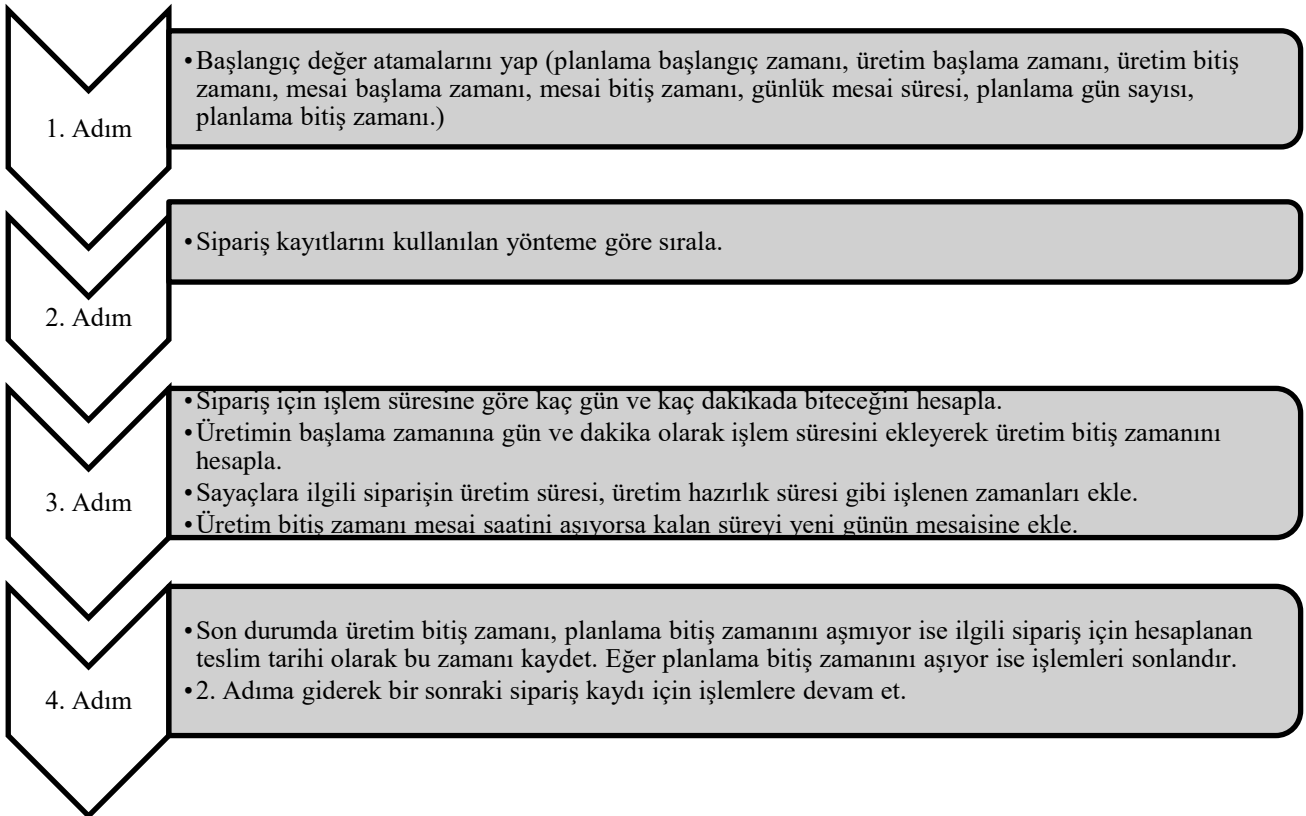
Hammaddenin erken alınmasından dolayı işletmenin dolaylı yoldan karşıladığı vade farkı ile ilgili fonksiyon olan M fonksiyonunun ayrıntıları Denklem 6'da gösterilmektedir. Buradaki V değişkeni günlük vade farkı oranını, pr ise sipariş tutarlarındaki ortalama kar oranını ifade eder. Sipariş tutarını ifade eden A fonksiyonundan ortalama kar oranına denk gelecek kar tutarı çıkarılarak hammaddenin maliyeti hızlıca hesaplanır. Hammadde maliyetinin net bilindiği durumlar için bu hesaplama gereksiz kalmadan doğrudan ilgili parantez içinde kullanılabilir. Burada belirtilen kar oranı aslında aynı zamanda alınan hammaddeye kazandırılan katma değeri de ifade eder. Netice olarak belirli bir gün sayısı kadar vaktinden erken üretilen siparişin hammaddesinin erken temininden ve hammaddeye erken bağlanan sermayeden dolayı gizli bir maliyet olarak vade farkı hesaplanır. Çünkü hesaplanan sürede ürünü teslim etmek için hammadde bağlantısı daha geç yapılabileceğinden dolayı hammaddeye vaktinden erken sermaye bağlanması bu şekilde gizli bir vade maliyetini de beraberinde getirmektedir.

$$M(i) = d * V * (A(i) - A(i) * pr) \quad (6)$$

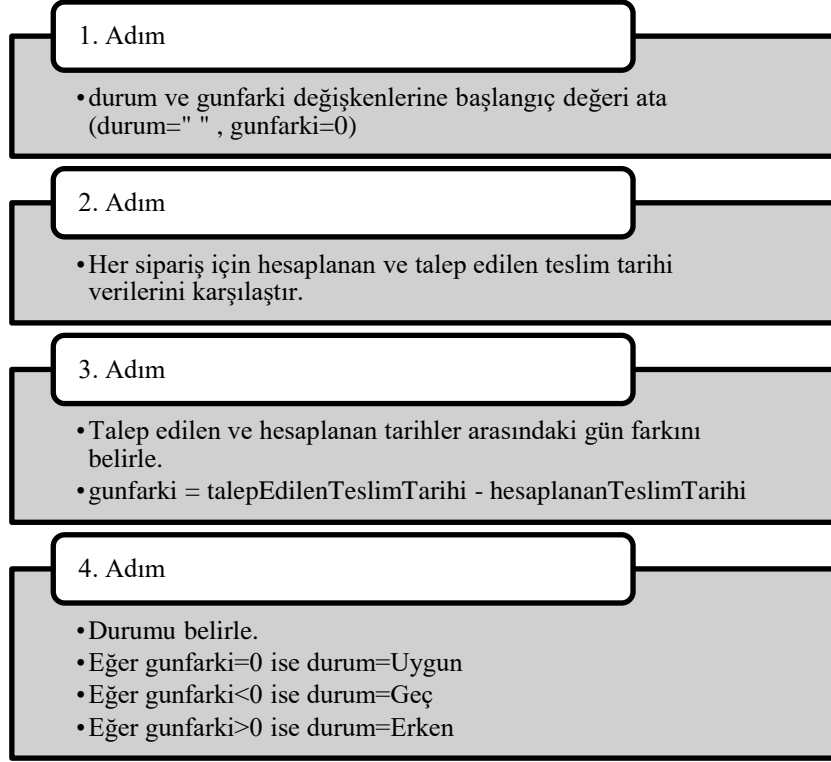
Nihai durumda maliyet fonksiyonu olan F amaç fonksiyonunun minimize edilmesi veya F fonksiyon değeri daha düşük olan siparişlerin işletmeye lojistik maliyetleri daha az olacağı için üretim programına dâhil edilecek planlamada önceliklendirilmesi hedeflenmektedir. Bunun için her ne kadar F fonksiyonu içerisindeki I, T ve M fonksiyonlarının değer kümeleri TL cinsinden maliyet ifade etse de, maliyet kalemlerinin birbiri üzerindeki etkileri ağırlık katsayılarına göre hesaplamalarda oranlanabilir, hatta kriterler için tüm sipariş havuzu verileri içinde normalizasyon işlemi yapılarak kriterler arasındaki farklılıklar ortadan kaldırılabilir.

Normalizasyon işlemi; her bir siparişteki ilgili kriter değerinin tüm siparişler içerisindeki kriter değerleri en iyi olan siparişin değerine bölünerek oranlanması işlemidir. Eğer kriter maksimize edilecek bir kriter ise en büyük değere sahip olan alternatif en iyi kriter değerine sahip demektir. Ters olarak minimize edilecek maliyet benzeri bir kriter ise en küçük maliyet değerine sahip olan alternatif en iyi kriter değerine sahiptir. Normalizasyon işleminin her kriter için ayrı ayrı olmak üzere tüm sipariş yani alternatifler havuzunda yapılması sonucunda tüm kriterler 0 ve 1 aralığında değer olarak normalizasyon işlemine tabi tutulmuş olur ve her biri aynı birim olarak değerlendirileceği karar matrisinin bir elemanı olmuş olur. Artık kriterlerin birbirine baskınlığı sadece ağırlık katsayısı oranında olacaktır. Bunun haricinde her kriter değeri diğer alternatiflerin durumuna göre 0 ile 1 aralığındaki değerini alacaktır.

Normalizasyon işleminden sonra tüm siparişler amaç fonksiyonu olan F fonksiyonuna göre küçükten büyüğe doğru sıralanır. Çünkü F bir maliyet fonksiyonudur. Maliyeti en az olan sipariş önceliklendirilerek belirlenen üretim programına siparişler kabul edilmelidir. Sıralı siparişlere Şekil 1'de işlem ayrıntılarının belirtildiği üzere birer teslim tarihi hesaplanır. Daha sonra hesaplanan teslim tarihlerinden siparişlerin talep tarihine göre daha mı erken veya daha mı geç üretileceği durumu Şekil 2'deki işlem adımlarına göre hesaplanır (Aktürk, 2018a).



Şekil 1. Teslim Tarihi Atama Fonksiyonu (Aktürk, 2018a).



Şekil 2. Sipariş Durumu Belirleme İşlem Adımları (Aktürk, 2018a).

Yukarıda anlatılan formüller ve işlem akışlarından oluşan karar modeli herhangi bir elektronik tablo programında (Örneğin Excel) veya herhangi bir programlama dili ile geliştirilecek bir yazılım ile karar modelinden hızlıca bir karar destek sistemine dönüşmeye hazırdır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Stoğa üretim yapan işletmelerde teslim tarihi ile ilgili pek sorun yaşanmamaktadır. Çünkü genelde müşterilerin talep edeceği ürünler üreticinin stoklardan veya farklı pazarlama kaynaklarından doğrudan temin edildiğinden dolayı sadece ürün sevkinde geçen süre bulunmaktadır. Ancak özellikle siparişe göre üretim yapan işletmeler için teslim tarihi belirleme, siparişin kabul sürecinden başlayarak malzeme ihtiyaç planlaması, üretim planlaması, üretim programı ve sevkiyat süreçlerinin tamamından etkilendiği için iyi yönetilmesi gereken bir süreçtir. Önceki çalışmalara bakıldığında genel olarak siparişlerin erken veya geç kalma durumlarındaki ceza ve maliyetler çalışılmış olmakla birlikte erken üretilen siparişler için doğacak lojistik maliyetler konusunda yapılmış ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır. Yapılan çalışmada önerilen karar modeli ile siparişe göre üretim yapan işletmeler için lojistik maliyetleri minimize etmelerine yol göstermek amacıyla doğrusal bir karar modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen karar modelini baz alarak siparişleri lojistik maliyetler açısından sıralayacak karar destek sistemleri herhangi bir geliştirme ortamında programlanabilir. Ayrıca, özellikle inşaat ve yapı imalatı gibi proje tabanlı ve isteğe özel üretilen ürünler hem proje takviminde meydana gelebilecek gecikmelerden dolayı üreticiden doğru zamanda temin edilememektedir. Bu zaman belirsizliği talep edilen ürünün, müşterinin ihtiyaç duyduğu tarihten erken üretilmesi durumunda işletmelere görünmeyen ancak gerçekte mevcut olan lojistik maliyetleri yüklemektedir. Geliştirilecek karar destek sistemleri, siparişe üretim yapan firmaların satış ve pazarlama yöneticileri tarafından kullanılarak lojistik maliyetler açısından işletmelerin yüklenmek zorunda kalacakları gizli maliyetler her bir sipariş için ayrı ayrı gözlemlenebilir. Bu maliyetler daha satış işlemi öncesinden öngörülerek ürünün birim fiyatına yansıtılabilir.

Yapılan çalışma ile siparişe göre üretim yapan bir işletmeye gelen herhangi bir sipariş için kabul kararı verilmeden önce talep edilen tarihlere göre siparişler sıralanır. Sonrasında her sipariş için ilgili amaç fonksiyonu değerleri hesaplanırsa, ilgili siparişleri istenen tarihlere teslim etmenin veya siparişleri üreterek stokta bekletmenin işletmeye getireceği maliyetler su yüzüne çıkacaktır. Buraya kadar anlatılan önceki çalışmalarda pazarlama birimi yöneticilerinin siparişleri kabul ederken lojistik maliyetleri göz önünde bulundurduğu bir karar modeline ulaşılmamıştır. Genelde yapılan çalışmalar gelirleri arttırmaya yöneliktir (Guhlic vd. 2015; Aktürk ve Gülseçen, 2018). Ya da çeşitli teorik çalışmalar ile geciken siparişlerin maliyetini azaltmak amaçlanmıştır (Jagan vd., 2015; Low vd., 2016; Çakar vd., 2015; Assarzagdegan ve Barzoki, 2016; Shatbay vd., 2016; Zhao, 2016; Drwal, 2018). Önerilen karar modelinin faydası lojistik maliyetleri ortaya çıkarmakla kalmayıp, teslim tarihinde ısrarcı olan müşteriler için baştan anlaşma sağlamadan oluşacak maliyetler ürünlerin birim fiyatına yansıtılabilir veya müşteriler, üretici firmaların lojistik maliyetler olmadan hesaplayacağı teslim tarihlerini kabul etme konusunda ikna edilebilirler.

Sonuç olarak müşteriler talep tarihlerinde ısrar ettikleri durumunda üretici firmanın yüklenmek zorunda kalacağı lojistik maliyetleri ürünlerin birim fiyatında daha sipariş kabul aşamasında yapılacak artışla ya kendileri üstlenmiş olur, ya da bu karar modellerini kullanan üretici firmaların kendilerine lojistik maliyet doğurmayacak şekilde önerecekleri teslim tarihlerini kabul etmek durumunda olurlar. Kendilerine ihtiyaç duyacakları tarihe kadar gerek duymayacakları ürünlerin fabrikalardan sevkini sağlayan müşteriler, bu ürünlerin depolanmasından ve her türlü riskinden kendileri sorumlu olacaktır. Yapılan çalışma ile ayrıca sonraki çalışmalarda geliştirilecek karar destek sistemlerine lojistik maliyetler açısından ayrı bir yol açılarak teslim tarihi literatürüne yenilik getirilmiştir. Önerilen karar modelinden oraya çıkarılacak karar destek sistemleri aynı zamanda değişken ortamlarda anlık olarak ortaya çıkan tüm belirsizlikleri gidermeye yardımcı olan birer araç olduğu için endüstri 4.0 dönüşümlerinde sipariş kabulü, üretim planlama, teslim tarihi belirleme ve sevkiyat gibi iş süreçlerinin entegrasyonuna da önemli katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Aktürk, C, Gülseçen, S. (2017). Teslim Tarihi Problemi ve İnovatif Bir Karar Modeli Önerisi. *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 1 (2), 103-119. DOI: 10.31006/gipad.338360
- Aktürk, C., & Gülseçen, S. (2018). Sipariş Teslim Tarihi Problemi İçin Çok Kriterli ve Çok Yönlü Karar Destek Sistemi Önerisi. *Institute of Business Administration-Management Journal/İsletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 29(84).
- Aktürk, Cemal. (2018), *Çok Kriterli Karar Destek Modeli Ve Gelir Yaklaşımıyla Sipariş Teslim Tarihi Belirleme*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Assarzadegan, P., & Rasti-Barzoki, M. (2016). Minimizing sum of the due date assignment costs, maximum tardiness and distribution costs in a supply chain scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 47, 343-356.
- Baker, K. R., & Trietsch, D. (2015). Trading off due-date tightness and job tardiness in a basic scheduling model. *Journal of Scheduling*, 18(3), 305-309.
- Ceran, Y, Alagöz, A. (2007). Lojistik Maliyet Yönetimi: Lojistik Maliyetler ve Lojistik Maliyet Muhasebesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 131-152. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/comuybd/issue/4113/54140>
- Çakar, T., Köker, R., & Canay, O. (2015). A new neuro-dominance rule for single-machine tardiness problem with double due date. *Neural Computing and Applications*, 26(6), 1439-1450.
- Demir, H. I., Uygun, O., Cil, I., Ipek, M., & Sari, M. (2015). Process planning and scheduling with SLK due-date assignment where earliness, tardiness and due-dates are punished. *Journal of Industrial and Intelligent Information*, Vol, 3(3).
- Drwal, M. (2018). Robust scheduling to minimize the weighted number of late jobs with interval due-date uncertainty. *Computers & Operations Research*, 91, 13-20.
- Guhlich, H., Fleischmann, M., & Stolletz, R. (2015). Revenue management approach to due date quoting and scheduling in an assemble-to-order production system. *OR spectrum*, 37(4), 951-982.
- Jagan, D., Senthilvel, A. N., Prabhakar, R., & Maheswari, S. U. (2015). Analysis for Maximal Optimized penalty for the Scheduling of Jobs with Specific Due Date on a Single Machine with Idle Time. *Procedia Computer Science*, 47, 247-254.
- Li, S. S., & Chen, R. X. (2017). Common due date assignment and cumulative deterioration scheduling on a single machine. *Engineering Optimization*, 49(6), 976-989.
- Low, C., Li, R. K., Wu, G. H., & Huang, C. L. (2015). Minimizing the sum of absolute deviations under a common due date for a single-machine scheduling problem with availability constraints. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 32(3), 204-217.
- Low, C., Li, R. K., & Wu, G. H. (2016). Minimizing total earliness and tardiness for common due date single-machine scheduling with an unavailability interval. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.
- Lödding, H., & Piontek, A. (2017). The surprising effectiveness of earliest operation due-date sequencing. *Production Planning & Control*, 28(5), 459-471.
- Nurainun, T., Fudholi, A., Hartati, M., Yendra, R., & Kusumanto, I. (2016). A multi due date batch scheduling model on dynamic flow shop to minimize total production cost. *Contemporary Engineering Sciences*, 9(7), 315-324.
- Schäfer, R., Chankov, S., & Bendul, J. (2016). What is really “on-time”? A comparison of due date performance indicators in production. *Procedia CIRP*, 52, 124-129.
- Shabtay, D., Steiner, G., & Zhang, R. (2016). Optimal coordination of resource allocation, due date assignment and scheduling decisions. *Omega*, 65, 41-54.
- Şen, İ. K. (2014). Lojistik faaliyetlerin yönetimi ve maliyetleme yaklaşımları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi*, 4(1), 83-106.

- Zahedi, Z., Samadhi, T., Suprayogi, S., & Halim, A. (2016). Integrated batch production and maintenance scheduling for multiple items processed on a deteriorating machine to minimize total production and maintenance costs with due date constraint. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(2), 229-244.
- Zhao, C. (2016). Common due date assignment and single-machine scheduling with release times to minimize the weighted number of tardy jobs. *Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 33, (1), 239-249.



Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme

Yasemin Gültepe^{1*}

¹ Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8684-9907)

(İlk Geliş Tarihi 21 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 17 Nisan 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.530347)

ATIF/REFERENCE: Gültepe, Y. (2019). Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 8-15.

Öz

Hava kirliliği, günümüzün en büyük sorunlarından birini teşkil etmektedir. Hava kirliliği, nüfusun artması, kentsel gelişme ve büyüme, endüstrinin gelişmesiyle giderek artan bir önem arz etmektedir. Genellikle hava kirlenmelerinin insanlara, canlılara ve çevreye zararlı etkileri zaman, mekan, etki süresi, konsantrasyon ve diğer karakteristiklerine bağlı olarak karmaşık dağılım şekilleri göstermektedir. Bu karmaşıklık, kirlenici örnekleri ve eğilimleri modelleme veya ölçmede, ayrıca insanların maruz kaldığı seviyeleri tahmin etmenin zor olduğu anlamına gelmektedir. Hava kirliliğini önleme çalışmaları arasında en önemli adımlardan biri hava kirlenmesi olayının bir model içerisinde değerlendirilmesidir. Bu çalışmada Kastamonu ili ele alınarak, meteoroloji ve çevre uygulamalarında oldukça yeni ve başarılı sonuçlar elde edilen çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları ile hava kirliliğinin tahmininde, bazı meteorolojik değişkenler kullanılarak hava kirliliği tahmini yapacak modeller geliştirilmiştir. Minimum-Maksimum (Min-Max) normalizasyon tekniği, öğrenme yöntemleri ile birlikte kullanılmıştır. Tahmin modellerinde, Yapay Sinir Ağları (YSA), Rastgele Orman (Random Forest), K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighborhood), Lojistik Regresyon (Logistic Regression), Karar Ağacı (Decision Tree), Lineer Regresyon (Linear Regression) ve Basit Bayes (Naive Bayes) yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen performans değerleri, literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslanarak problemin çözümüne ilişkin en uygun tahmin algoritması tespit edilmiştir. Veri setinin %70'i eğitim ve %30'si test verisi olarak ayrılmıştır. Çalışma sonucunda, YSA modeli için doğru tahmin oranı %87 ve diğer makine öğrenmesi modellerinden Rastgele Orman doğruluk oranı %99 ve Karar Ağacı doğruluk oranı %99 değerleri ile tahminlemede en başarılı sonuçları verdiği görülmüştür. Lineer Regresyon yöntemi %30'luk doğruluk oranı ile oldukça kötü performans sergilemektedir. KastamonuDataSet üzerinde kullanılan yöntemlerin performans değerlendirmelerinde Açıklayıcılık Katsayısı (R^2), Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error-MSE), Ortalama Hata Kare Kökü (Root Mean Square Error-RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE) metrikleri bakımından istatistiksel önemli farklılıkların bulunduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Hava Kirliliği, Hava Kirliliği Tahmini, Makine Öğrenme Algoritmaları.

A Comparative Assessment on Air Pollution Estimation by Machine Learning Algorithms

Abstract

Air pollution is one of the biggest problems of today. Air pollution, population growth, urban development and growth are increasingly important with the development of industry. Generally, the harmful effects of air pollutants on humans, animals and the environment show complex distribution patterns depending on time, space, duration of action, concentration and other characteristics. This complexity means that modeling and measurement of pollutant samples and trends is also difficult to predict the levels of

* Sorumlu Yazar: Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8684-9907, yasemingultepe@kastamonu.edu.tr

pollution to which people are exposed. One of the most important steps in prevention of air pollution is the evaluation of contamination in a model. In this study, it is aimed to model air pollution by using some meteorological parameters in the estimation of air pollution by various machine learning algorithms which give new and successful results in meteorology and environment applications. Minimum-Max (Min-Max) normalization technique was used with learning methods. The performance values obtained in the study are compared with the similar studies in the literature and the most appropriate classification algorithm for the solution of the problem has been determined. Separate models were designed and analyzed by using methods such as Artificial Neural Networks (ANN), Random Forest, K-Nearest Neighborhood (K-NN), Logistic Regression, Decision Tree, Linear Regression and Naive Bayes. The performance values obtained in the study were compared with similar studies in the literature and the most appropriate estimation algorithm for the solution of the problem was determined. In this case, 70% of the data set is used for training and 30% for testing. As a result of the study, it was seen that the correct estimation rate for the ANN model was 87% and the other machine learning models gave the best results in the estimation with 99% of the Random Forest accuracy rate and 99% of the Decision Tree accuracy rate. The Linear Regression method performs poorly with a 30% accuracy rate. Performance evaluation of methods used on KastamonuDataSet in terms of the Explanatory Coefficient (R^2), Mean Squared Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE) metrics.

Keywords: Artificial Neural Networks, Air Pollution, Air Pollution Estimation, Machine Learning Algorithms.

1. Giriş

Günümüzde insanlığın en büyük sorunlarından birisi hava kirliliği haline gelmiştir. Hava kirliliği, nüfusun artması, kentsel gelişme ve büyüme, endüstrinin gelişmesiyle giderek artan bir önem arz etmektedir. Genellikle hava kirleticilerinin insanlara, canlılara ve çevreye zararlı etkileri zaman, mekan, etki süresi, konsantrasyon ve diğer ayırıcı niteliklere bağlı olarak karmaşık dağılım şekilleri göstermektedir. Bu karmaşıklık, kirletici örnekleri ve eğilimleri modelleme veya ölçmede, ayrıca insanların maruz kaldığı seviyeleri tahmin etmenin zor olduğu anlamına gelmektedir. Hava kirliliğinin önlenmesinde en önemli adımlardan biri, kontaminasyon olayının bir model içindeki değerlendirilmesidir (Kunt, 2007). Hava kalitesi düzenli olarak ölçülürse, bölgedeki kirlilik seviyesini belirlemek mümkün olur. Böylelikle temiz hava planları çıkarılır, hava kirliliği haritaları oluşturulur ve dağıtım modelleri yapılabilir. Bu bağlamda üretilen hava kalitesi ölçümlerine dayanarak, elde edilen sonuçlara dayalı çözümler, hava kalitesini ve standartlarını iyileştirmek için çözümler daha sağlıklı, daha gerçekçi ve kolay bir şekilde oluşturulabilir (Aydınlar ve ark., 2009).

Günümüz yapay zeka teknolojilerinden makine öğrenmesi ile hava kirliliğine yönelik objektif ve daha hassas sonuçlar elde edilmiştir. Makine öğrenmesi, karmaşık örüntü algılama ve veriye dayalı karar verebilme özellikleriyle ele alınan problemin çözümünü kendi kendine öğrenebilen bilgisayar algoritmalarının genel adıdır. Varolan veri setleri ve kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri ile oluşturulan model, en yüksek performansı elde etmek üzerine kurulmaktadır. Bu nedenle birçok makine öğrenmesi yöntemi geliştirilmiş olup bunlardan bazıları; Destek Vektör Makineleri, Lojistik Regresyon, Lineer Regresyon, Basit Bayes, K-En Yakın Komşu, Rastgele Orman ve Karar Ağacı'dır.

Literatüre bakıldığında hava kirliliği üzerine farklı ülkelerde farklı şehirlere ait verisetleri ve çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları Tablo 1'de karşılaştırılmıştır. Hava kirleticiler, gaz (SO_2 , NO_x , HC, CO, CO_2 , O_3) ve toz şeklindeki kirletici maddeler olmak üzere genel olarak iki alt grupta toplanmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemlerine ait performans sonuçlarında RMSE değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmaktadır.

Tablo 1. Hava Kirliliği Tahminleri İçin Makine Öğrenme ile Yapılan Önceki Çalışmaların Karşılaştırılması

Yayınlar	Bölge	Hava Kirletici	RMSE	Metot
Alimissis ve ark., 2018	Athens/Greece	NO_2 , NO , O_3 , CO , SO_2 ,	27.28, 55.15, 16.6, 1.06, 11.97, 25,60, 44.58, 16.41, 0.81, 5.74	Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon, İleri Beslemeli Ağlar
Hu ve Rahman, 2017.	Sydney	CO	0.64, 0.63, 0.61	Destek Vektör Regresyon, Karar Ağacı Regresyon, Rastgele Orman
Huang & Kuo, 2018	Beijing/China	$PM_{2.5}$	26.37, 25.27	Konvolüsyonel Sinir Ağları, Uzun-Kısa Süreli Bellek
Martínez-España ve ark., 2018	Murcia/Spain	O_3	10.99 10.83 10.20 11.19 12.33	Örnekleme, Rastgele Topluluk, Rastgele Orman, M5P Karar Ağacı, En Yakın K-Komşu
Tamas ve ark., 2016	Corsica/France	PM_{10} , O_3 , NO_2 ,	8.72, 24.22, 17.57 8.28, 22.56, 15.42	Hiyerarşik Kümeleme, K-Ortalamalar Kümeleme
Zaree ve Honarvar, 2018.	Brasov/Romania	O_3	0.632	K-Ortalamalar Kümeleme

Dünya Sağlık Örgütü'nün hazırladığı hava kirliliği ile ilgili açıklanan listede Avrupa'da öne çıkan büyük şehirler arasında İstanbul birinci sıradadır. Saygın ve ark., (2018) İstanbul'daki hava kirliliğini tahmin etmek için Eşik Seviyesini aşan Değer Modelini (Peaks over Threshold Method, ESAD) kullanmışlardır. ESAD yönteminde, eşik seviyesi olarak belirlenen bir değerden büyük tüm değerler eşiki aşan değer olarak kabul edilerek, bu değerler esas alınarak tahminler gerçekleştirilir. Yazarlar, POT yöntemlerinin İstanbul'daki hava kirliliğinin (SO₂ ve PM10 hava kirliteciler) limit aşımının oluşumu hakkında yararlı bilgiler sağlayabildiğini ve bu modellerin limit aşımını hakkında kısa vadeli tahminler yapmak için kolaylıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Zhao ve Hasan çalışmalarında, Hong Kong şehrindeki PM_{2.5} konsantrasyon seviyesini tahmin etmek için YSA ve Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines, DVM) algoritmalarını geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Tahmin modelinin performansı YSA için %75-79 değerleri arasında ve DVM için ise %80-82 değerleri arasında başarı sağlamıştır (Zhao & Hasan, 2013).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin Kastamonu ilini dikkate alarak meteoroloji ve çevre uygulamalarında yeni ve başarılı sonuçlar veren makine öğrenme modelleriyle bazı meteorolojik parametreler kullanılarak hava kirliliğinin tahmin elde edilmesidir. Kastamonu ili hava kirliliği ile ilgili mevcut verisi üzerinde Rastgele Orman, K-En Yakın Komşu, Lojistik Regresyon, Karar Ağacı, Lineer Regresyon ve Basit Naives makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında verilerin %70'i eğitim ve %30'si test verisi olarak ayrılmıştır ve her bir yöntemin tahminleme performansı elde edilmiştir. Elde edilen sonuç değerleri literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslanarak hava kirliliği tahmininde diğer makine öğrenme yöntemleri, YSA'na göre daha başarılı olmuştur. Makine öğrenmesi yöntemleriyle ortaya çıkacak modelin erken tahmin başta olmak üzere birçok avantajı da beraberinde getireceği söylenebilir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde detaylı olarak hava kirliliği tahmin problemi için literatürdeki makine öğrenmesi yöntemleri tanıtılmış ve başarımları tablo halinde sunulmuştur. İkinci bölümde kullanılan veri seti, tahmin modellerinde kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri ve makine öğrenmesi adımları hakkında özet bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde bu çalışmada elde edilen sonuçlar hakkında değerlendirme ve tartışma yer almaktadır. Son bölümde ise, çalışmadan elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Seti

Türkiye'nin birçok ilinde olduğu gibi Kastamonu merkezinde zaman zaman hava kirliliği problemi rahatsız edici duruma gelmektedir. Hava kirliliğinin sebeplerinin araştırılması yanında çözüm yollarının ortaya konulması son derece önemlidir. Kastamonu ilinde hava kirliliği ölçümleri düzenli olarak 2002 yılında başlamıştır. Bir kaynaktan çıkan kirleticilerin atmosferdeki dağılımları rüzgar hızı ve yönü, sıcaklık, güneş ışığı oranı, bulutluluk ve yağışlılık gibi meteorolojik koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Demirarslan ve ark., 2008). Günümüzde de hava kalitesinin düzeyini ölçmek amacıyla kurulan Hava Kalitesi Gözlem İstasyonları vasıtası ile saatlik ortalama olarak SO₂, PM10 ve hava sıcaklığı, hava basıncı, nem, rüzgar yönü ve rüzgar hızı ölçümleri yapılmaktadır.

YSA ve diğer makine öğrenmesi yöntemleri kadar kullanılan veri setindeki öznitelikler de bu yöntemlerin başarısını etkileyen önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmada kullanılan veriler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonları web sitesinden Kastamonu il merkezi için alınmıştır. Veri setinde çok büyük veri ile birlikte çok sayıda özellik bulunuyorsa ve bunları yorumlayacak denklem veya fonksiyonlar yok ise bir anlam çıkarmak için makine öğrenmesi kullanılabilir. Çözülmesi gereken problemi çözmek için doğru veri ile algoritmayı beslemek çok önemlidir. İyi veri olsa bile, yararlı bir ölçekte, formatta ve anlamlı özelliklerin dahil olması gerekir. Fakat çeşitli sebeplerden dolayı istasyonların ölçümleri belirli zaman aralıklarında NULL değerler bulunduğu ve kayıp değerler olduğu görülmektedir. Veri setindeki kayıp değerler için o niteliğe ait ortalama değer ile doldurulması yöntemi uygulanmıştır. KastamonuDataSet eğitim seti olarak; 4 Ekim 2015 ile 30 Ekim 2018 tarihleri arasında ortalama 2500 gün olarak belirlenen örnek veriler kullanılmıştır. Bu veri setinde 7 farklı öznitelik (PM10, SO₂, hava sıcaklığı, hava basıncı, nem, rüzgar yönü ve rüzgar hızı) bulunmaktadır.

Tablo 2. Hava Kirletici Parametreler İçin İstatistiksel Oranlar

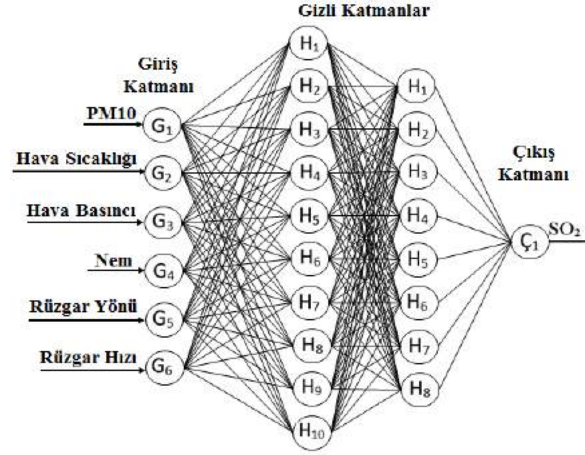
Hava Kirleticiler	Özellikler			
	Ortalama	Standard Sapma	Maksimum	Minimum
SO ₂ (µg/m ³)	5.52	7.89	173.53	-2.87
PM10 (µg/m ³)	48.06	47.33	4925,31	0
Hava Sıcaklığı (°C)	9.12	10.25	41,57	-17,4
Hava Basıncı (mbar)	967.31	200.68	1031,1	15,69
Bağıl Nem (%)	68.98	23.09	97,13	-1,17
Rüzgar Yönü (degree)	195.02	121.12	359,71	0,08
Rüzgar Hızı (m/s)	143	1.88	81,05	0,37

Veri setinin istatistiksel özellikleri, veri analizi ve ön işleme için çok önemlidir. İstatistiksel özellikler ortalama, standart sapma, varyans, hipotez testleri vb. ile temsil edilir. Tablo 2'de Kastamonu ili 2015-2018 yılları arasında hava kirleticilere ait olan istatistiksel

özellikler sırasıyla ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri özetlenmiştir. Her meteorolojik parametrenin istatistiksel değişim aralığı incelenmiştir. İstatistikler incelendiğinde özellikle çevreyi ve insan sağlığını olumsuz etkileyen kesim ortalama PM10 ve SO₂ seviyelerinin sırasıyla $\geq 48.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\geq 5.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerleridir.

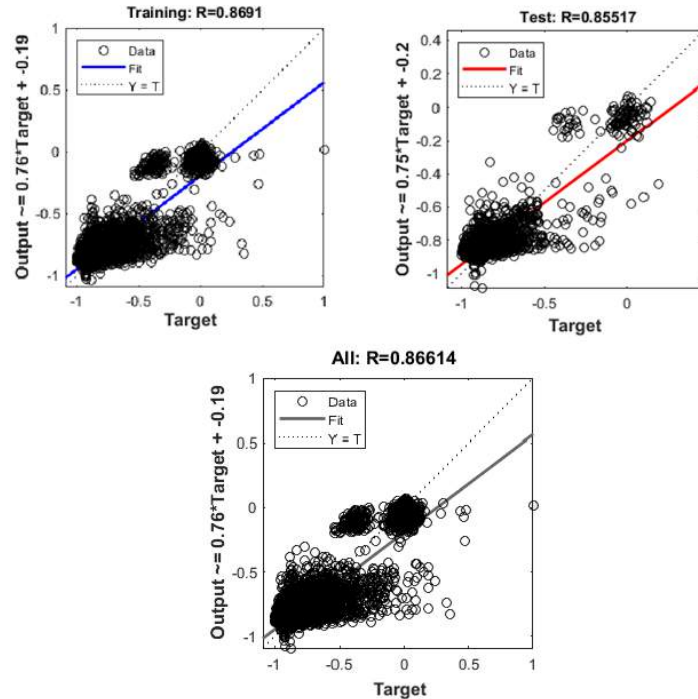
2.2. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Hava Kirliliği Tahmini

YSA ile oluşturulan modeller genellikle istatistiksel veri analizi veya sistem optimizasyonu için kullanılır. Ayrıca regresyon ve diğer klasik yöntemler ile tahminlemede de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada hava kalitesi modelinin YSA yaklaşımı ile tahmin edilmesi ve modellenmesi için ağa sunulacak olan veri kümesi, KastamonuDataSet'ten elde edilen verilerdir. Bu veriler Min-Max normalizasyon tekniği ile normalize edildikten sonra günlük sıralı veriler olarak ağa sunulmuştur. Tablo 2'de bulunan bir kirlilik parametresi (PM10) ve günlük olarak ölçülen 5 farklı meteorolojik faktör (hava sıcaklığı, hava basıncı, nem, rüzgar yönü ve rüzgar hızı), modelin giriş parametreleri olarak kullanılıp, çıktı olarak bir gün sonraki SO₂ konsantrasyonu tahmin edilmiştir. Böylelikle Kastamonu il merkezi hava kalitesi modeli, yapay sinir ağları ile oluşturulmuştur.



Şekil 1. Sistem için tasarlanan yapay sinir ağı modeli

Şekil 1'de YSA modeli için ileri beslemeli yapay sinir ağı gösterilmiştir. Yapay sinir ağı için iki gizli katman kullanılmıştır. Birinci gizli katmandaki nöron sayısı 10, ikinci gizli katmandaki nöron sayısı 8 olarak belirlenmiştir. Yapay Sinir Ağı parametrelerini belirlemek için çok sayıda deneme yanılma yöntemi kullanılmıştır ve çok sayıda test yapılmıştır. Öğrenme oranı, yapay sinir ağlarındaki ağın öğrenme performansı ile yakından ilişkilidir. Öğretilen ağın doğruluk oranı karar verme katsayısı R² değeri, 0.76 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3. Eğitim ve test regresyon grafiği

Şekil 3’de öğrenme sonrası elde edilen eğitim ve test için regresyon grafiği gösterilmiştir. YSA modelinin performansı karşılaştırıldığında sırasıyla korelasyon katsayıları, $R_1=0.8691$, $R_2=0.08552$ ve $R_3=0.8661$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, modelin ve gerçek verinin birbiriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu model için genel hava kalitesi endeksini doğru bir şekilde tahmin etme olasılığı %87’dir.

2.3. Makine Öğrenme Yöntemleri Kullanılarak Hava Kirliliği Tahmini

2.3.1. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Makine öğrenimi, yapay zekanın önemli bir alt alanıdır. Temel amacı, veriden bilgi elde etmek için hesaplama yöntemlerini kullanmaktır. Makine öğrenimi, el yazısı ve konuşma tanıma, robotik ve bilgisayar oyunları, doğal dil işleme, beyin-makine arayüzü vb. dahil geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Çevre bilimlerinde, veri işleme, model emülasyonu, hava ve iklim tahmini, hava kalitesi tahmini ve hidrolojik tahminlerde makine öğrenme yöntemleri yoğun olarak kullanılmaktadır (Peng, 2013).

Makine öğrenmesi tabanlı hava kirliliği tahmini sistemi için kullanılacak algoritmaların seçimi önemlidir. Bu çalışmada aşağıda açıklanan makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır (Dey, 2016).

- **Rastgele Orman:** Rastgele Orman denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. Adından anlaşılacağı üzere rastgele bir orman oluşturur. Oluşturulan orman, genellikle “torbalama” yöntemiyle eğitilmiş karar ağaçları topluluğudur. Torbalama yönteminin amacı, öğrenme modellerinin bir kombinasyonunun genel sonucu arttırmasıdır.
- **K-En Yakın Komşu:** Parametrik olmayan bir tekniktir ve sınıflandırmasında en yakın komşularının sayısı olan k ’ı grup üyeliğine göre verileri sınıflandırmak için kullanır.
- **Lojistik Regresyon:** Bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi, temel lojistik fonksiyonunu kullanarak olasılıkları tahmin ederek ölçmektedir.
- **Karar Ağacı:** Bir karar ağacı, her düğümün bir özelliği (niteliği) temsil ettiği, her bağlantının (dal) bir kararı temsil ettiği ve her bir yapının bir sonucu olduğu bir ağaçtır. Her ağaç düğüm ve dallardan oluşur. Her düğüm, sınıflandırılacak olan bir gruptaki özellikleri temsil eder ve her dal, düğümün alabileceği bir değeri temsil eder.
- **Lineer Regresyon:** Bağımsız değişkenlere dayanan bir hedef tahmin değerini modeller. Çoğunlukla değişkenler ve tahmin arasındaki ilişkiyi bulmak için kullanılır. Farklı regresyon modelleri, bağımlı ve bağımsız değişkenler, kullanılan bağımsız değişkenlerin sayısı arasındaki ilişkiye göre farklılık gösterir.
- **Basit Bayes:** Bayes teoremine dayanan bir denetimli bir makine öğrenmesi yöntemidir. Bu algoritma, koşullu olasılıklara dayalı olarak hedef sınıfta belirli bir değer olasılığını inceler ve buna dayanarak, hedef sınıfın değerini tahmin eder.

Normalizasyon işlemi, makine öğrenmesi için genellikle veri hazırlamanın bir parçası olarak uygulanan bir tekniktir. Normalleştirilmenin amacı, veri kümesindeki sayısal sütunların değerlerini, değerler aralığındaki farklılıkları bozmadan ortak bir ölçeğe uygun biçimde değiştirmektir. Makine öğrenmesi için, her veri kümesini normalleştirme gerekmeyebilir. Normalleştirme işlemi, verilerin boyutunu azaltmak veya işlemleri normalleştirilmiş değerlerle uygun aralıklarla gerçekleştirmek ve daha anlamlı ve kolayca yorumlanabilir sonuçlar elde etmek için kullanılabilir. (Dondurmacı & Çınar, 2014). Literatürde birçok veri normalizasyon çeşidi bulunmaktadır. Bunlar minimum-maksimum (min-max), ondalık ölçeklendirme, z-skor ve sigmoid gibi sıralanabilir (Jayalakshmi & Santhakumaran, 2011).

Bu çalışmada min-max normalizasyon metodu uygulanmış ve veri seti değerleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Min-Max normalizasyon yöntemi için Denklem 1 kullanılır (Yapraklı ve Erdal, 2016).

$$x_{yeni} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

x_{yeni} : x değişkeni için yeni sayıyı,

x : x değişkeni için geçerli sayıyı,

x_{min} : veri setindeki bulunan en küçük sayı,

x_{max} : veri setinde bulunan en büyük sayıyı,

ifade etmektedir.

Tahmin etmeye ilişkin iki önemli adım bulunmaktadır; birincisi veriyi tahmin etmek için hazırlamadır. İkincisi ise farkı tahmin edici modellerin karşılaştırılmasıdır. Modelleri karşılaştırma ölçütleri; doğruluk, hız, sağlamlık, ölçeklenebilirlik, yorumlanabilirliklerdir. Yapay Sinir Ağları ve makine öğrenmesi yöntemlerinin performans değerlendirmelerinde kullanılan temel performans göstergeleri arasında R^2 , MSE, RMSE ve MAE sayılabilir (Karasu ve ark., 2018).

Bu çalışmada Tablo 3’de verilen doğruluk ölçütleri kullanılmaktadır. Bu performans ölçüleri içerisinde R^2 , modelin doğruluk oranı karar verme katsayısıdır. Bu katsayı değerinin yüksek olması tahmin ilişkisinin iyi olduğu gösterir. MSE, RMSE ve MAE ise birer hata ölçüsü olması nedeniyle düşük sonuçlar, performans ile ters orantılı olarak yüksek performans gösteren ölçülerdir (Wang ve Xu, 2004). Örneğin RMSE sıfıra eşit olması durumunda iyi bir performans göstermektedir (Çınaroğlu, 2017). Belirli t zamanı

göstermek üzere r_t zaman aralığında gözlemlenen ve p_t tahmin edilen zaman serisi olmak üzere hata, Denklem 2’de e_t formülü ile ifade edilmektedir.

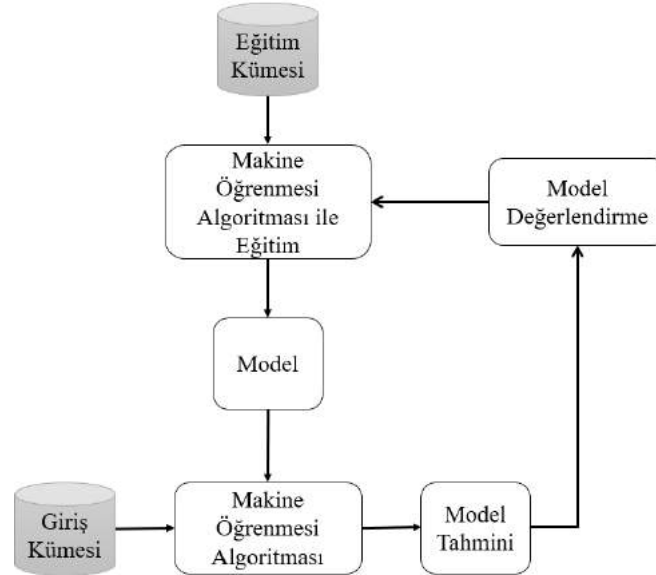
$$e_t = r_t - p_t \quad (2)$$

Tablo 3. Hata Ölçütleri

Açıklaması	Hata Ölçüt Formülü
MSE	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_t^2$
RMSE	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_t^2}$
MAE	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_t $

2.3. Makine Öğrenmesi Adımları

Makine öğrenmesi algoritmaları ile hava kirliliği tahmini, iki temel süreçten oluşmaktadır. Birincisi, makine öğrenmesi için temel gereksinimlerden olan veriyi toplamaktır. KastamonuDataSet’te tanımlanan parametreler, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Web Sitesi’nden Kastamonu’da 4 Ekim 2015 ile 30 Ekim 2018 tarihleri arasındaki PM10, SO₂, hava sıcaklığı, hava basıncı, nem, rüzgar yönü ve rüzgar hızı ölçüm sonuçlarından elde edilen verilerdir. İkincisi ise veri seti üzerinde makine öğrenme modelleri oluşturularak kirleticilerin ve konsantrasyonlarının tahmin edilmesidir. Kirleticiler olarak öz niteliklerin doğru seçilmesi ve doğru şekilde temsil edilmesi çok önemlidir. Temel makine öğrenmesi süreci, Şekil 4’de gösterilmiştir (Bilbro, 2016). Model(ler) oluşturulur ve bu model(ler)in amacı tahmin edilmesi istenilen şeyin, en verimli, en yüksek olasılıkla en hızlı şekilde tahmin edilmesidir.



Şekil 4. Temel makine öğrenmesi süreci

KastamonuDataSet için hangi algoritmanın başarılı olacağını önceden tahmin etmek zor bir iştir. Bu çalışmanın sonuçları incelendiğinde hangi algoritmanın hangi doğruluk derecesiyle en iyi sonucu ürettiği söylenebilecektir. Ayrıca gerçekleştirilecek algoritmalar arasında da algoritma başarısına göre de bir sıralama işlemi uygulanacaktır. YSA uygulaması Matlab ile diğer makine öğrenmesi yöntemleri ise Python ortamında kodlanmıştır. Python dili, yapay zeka ve makine öğrenmesi uygulamalarında oldukça popüler ve kullanışlı bir dildir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

YSA ve makine öğrenmesi ile yapılan testlerde, modellerin performansının değerlendirilmesinde R², MSE, RMSE ve MAE esas alınmıştır. Hava kirliliği tahmini için yapılan analiz ortalamaları, Tablo 4’de gösterilmiştir. Rastgele Orman ve Karar Ağacı yöntemleri en yüksek R², en düşük MSE ve MAE oranlarına sahiptir. R² değerinin 1’e yaklaşırken MSE değerinin 0’a yaklaştığı göz önüne alınan modeller arasında en başarılı model parametreleri gösterilmektedir.

DeneySEL sonuçlar, YSA modeli için doğru tahmin oranı %87 ve diğer makine öğrenmesi modellerinden Rastgele Orman %99 ve Karar Ağacı %99 değerleri ile en iyi sonuçları vermişlerdir. Lineer Regresyon yöntemi %30’lık doğruluk oranı ile oldukça kötü performans sergilemektedir. Ayrıca deneySEL sonuçlar, makine öğrenme yöntemlerinin (Rastgele Orman (%99) ve Karar Ağacı (%99)), YSA’nın %87 doğruluk oranına göre daha yüksek doğruluk elde edildiğini göstermiştir.

Tablo 4. KastamonuDataSet Üzerinde Kullanılan YSA ve Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Değerlendirme Kriterleri	Doğru Tahmin Oranı	R ²	MSE	RMSE	MAE
YSA	%87	0.76	0.19	0.04	0.08
Rastgele Orman	%99	0.97	0.01	0.11	0.01
K-En Yakın Komşu	%97	0.98	0.03	0.17	0.03
Lojistik Regresyon	%87	0.86	0.15	0.38	0.13
Karar Ağacı	%99	0.97	0.01	0.10	0.01
Lineer Regresyon	%30	0.29	0.27	0.52	0.44
Basit Bayes	%94	0.93	0.06	0.25	0.06

4. Sonuç

Bu çalışmada çeşitli meteorolojik parametreler ve hava kirliliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla, YSA modeli ve beş farklı makine öğrenmesi modeli kullanılarak hava kirliliği tahmin edilmiş ve model sonuçları karşılaştırılmıştır. Minimum-Maksimum (Min-Max) normalizasyon tekniği, öğrenme yöntemleri ile birlikte kullanılmıştır. Analizde kullanılan YSA ve makine öğrenmesi yöntemleri için 2015-2018 yılları arasındaki toplam 2500 verinin %70'lik kısmına karşılık gelen 1750 veri ile eğitim aşaması; geri kalan %30'lik kısmına karşılık gelene 750 veri ile test aşaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hava kirletici tahmini için Rastgele Orman ve Karar Ağacı makine öğrenme yöntemleri en yüksek performansı göstererek ön plana çıkmıştır. En kötü performansı ise Lineer Regresyon yöntemi sergilemiştir.

Çalışma sonucunda, hava kirliliği tahmininde YSA, lojistik regresyon, lineer regresyon makine öğrenmesi yöntemlerine göre daha başarılı olmuştur. Ayrıca, önceki yıllardaki hava kirliliğine ait kirletici ve konsantrasyon verilerini kullanarak gelecek yıllar için uygun önlemlerin alınmasının mümkün olacağı sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

- Alimissis, A., Philippopoulos, K., Tzani, C.G., and Deligiorgi, D. (2018). Spatial estimation of urban air pollution with the use of artificial neural network models, *Atmospheric Environment*, 191, 205-213, 2018.
- Bilbro, R. (2016). An Introduction to Machine Learning with Python. Erişim adresi: <https://districtdatalabs.silvrback.com/an-introduction-to-machine-learning-with-python>.
- Aydınlar, B., Güveni H. ve Kırksekiz, S., 2009. Hava Kirliliği ve Modellenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Rapor.
- Çınaroğlu, S. (2017). Sağlık Harcamasının Tahmininde Makine Öğrenmesi Regresyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(2): 179-200.
- Demirarslan, O. Çetin, Ş., & Ayberk, S. (2008). Hava Kirliliği Belirlemelerinde Modelleme Yaklaşımı ve Modelleme Aşamasında Karşılaşılabilecek Sorunlar, *Environmental Problems Symposium*, Kocaeli 2008.
- Dey, A. (2016). Machine Learning Algorithms: A Review, *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 7(3): 1174-1179.
- Dondurmacı, G.A. & Çınar, A. (2014). Finans Sektöründe Veir Madenciliği Uygulaması, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(1): 258-271.
- Hu, K. & Rahman, A. (2017). HazeEst: Machine Learning Based Metropolitan Air Pollution Estimation From Fixed and Mobile Sensors, *IEE Sensors*, 17(11): 3571-3525.
- Huang, C-J., & Kuo, P-H. (2018). A Deep CNN-LSTM Model for Particulate Matter (PM_{2.5}) Forecasting in Smart Cities, *Sensors* 2018.
- Jayalakshmi, T. & Santhakumaran A. (2011). Statistical normalization and back propagation for classification. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 3(1): 89-93
- Karasu, S., Hacıoğlu, R. & Altan, A. (2018). Prediction of Bitcoin Prices with Machine Learning Methods using Time Series Data, *26th signal Processing and Communications Applications Conference*.

- Kunt, F. (2007). Hava Kirliliğinin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Modellenmesi ve Tahmini, Selçuk University Graduate School of Natural and Applied Sciences, M.Sc. Thesis, Environmental Engineering Department, Konya, 2007.
- Martínez-España, R., Bueno-Crespo, A., Timón, I., Soto, J., Muñoz, A. & Cecilia, J.M. (2018). Air-Pollution Prediction in Smart Cities through Machine Learning Methods: A Case of Study in Murcia, Spain.
- Peng, H. (2013). *Air Quality Prediction by Machine Learning Methods*. The Degree of Master of Science, the University of British Columbia.
- Saygın, H., Eren, Ö., & Oral, H.V. (2018). Peaks Over Threshold Method Application on Airborne Particulate Matter (PM₁₀) and Sulphur Dioxide (SO₂) Pollution Detection in Specified Regions of İstanbul, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14:399-407.
- Tamas, W., Notton, G., Paoli, C., Nivet, M-L. & Voyant, C. (2016). Hybridization of Air Quality Freecasting Models Using Machine Learning and Clustering: An Orginal Approach to Detect Pollutant Peaks, *Aerosol and Air Qaulity Research*, 16: 405-416.
- Yapraklı, T.Ş. & Erdal, H. (2016). Firma Başarısızlığı Tahminlemesi: Makine Öğrenmesie Dayalı Bir Uygulama, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(1): 21-31.
- Zaree, T. & Honarvar, A.R. (2018). Improvement of Air Pollution Prediction in a Smart City and its Correction with Weather Conditions using Metrological Big Data, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26: 1302-1313.
- Zhao, Y. & Hasan, Y.A. (2013). Machine Learning Algorithms for Predicting Roadside Fine Particulate Matter Concentration Level in Hong Kong Central, *Computation Ecology and Software*, 3(3): 61-73.
- Wang, W. & Xu, Z. (2004). A Heuristic Training for Support Vector Regression, *Neurocomputing*, 61: 259-275.



SrAl₂O₄: Eu⁺², Dy⁺³ Nanoliflerin Faz Kararlılığı Üzerine Bor Katkısının Etkisi

Atilla Evcin^{1*}

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0163-5097)

(İlk Geliş Tarihi 15 Aralık 2018 ve Kabul Tarihi 30 Nisan 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.497884)

REFERENCE: Evcin, A. (2019). SrAl₂O₄: Eu⁺², Dy⁺³ Nanoliflerin Faz Kararlılığı Üzerine Bor Katkısının Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 16-25.

Öz

Bu çalışmada, sol-jel metoduyla katkısız, evropyum ve disprosyum katkılı SrAl₂O₄ ve bor katkılı SrAl₂O₄: Eu²⁺, Dy³⁺ fosfor malzemeleri olmak üzere üç farklı grup hazırlanmıştır. Sol-jel metodunda alüminyum, stronsiyum, evropyum ve disprosyumun nitratları başlangıç kimyasalları olarak kullanıldı. Bor katkısının nanoliflerin faz stabilitesi üzerindeki etkisini görmek için farklı oranlarda bor eklenmiştir. Deneysel çalışmalarda elektroçirme yönteminde süreç değişkenleri olarak; uygulanan voltajın etkisi, şırınga iğnesi ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe incelenmiştir. Fosforesan örneklerinin karakterizasyonu, DSC/TG, XRD ve SEM ile gerçekleştirilmiştir. Tozların DSC/TG analizi sonucunda toplam ağırlık kaybı 25°C ve 1300°C sıcaklıkları arasında SrO.Al₂O₃.xB₂O₃ için %68,8, SrO.Al₂O₃.xB₂O₃ x=0.2 için %65,43 ve SrO.Al₂O₃.xB₂O₃ x=0.4 için %69,87. Sentezlenen tozların XRD analizi sonucunda, yapının katkısız ve Eu-Dy katkılı numunede monoklinik SrAl₂O₄ formunda olduğu ve ortorombik kristal yapıyı Sr₄Al₁₄O₂₅ yapısına dönüştüğü gözlemlenmiştir. Fiber boyut ve dağılımı FibraQuant 1.3 yazılımı ve SEM görüntüleri yardımıyla belirlenmiştir. Fiberlerin ortalama çapları sırasıyla SrO.Al₂O₃.xB₂O₃, SrO.Al₂O₃.xB₂O₃ x=0.2 ve SrO.Al₂O₃.xB₂O₃ x=0.4 için 604 nm, 419 nm ve 285 nm'dir. Nanoliflerin SEM fotoğraflarını inceleyerek, bor katkısının nanolif yapı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve bor miktarındaki artışı, daha düzenli ve daha küçük çaplı nanoliflerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, bor katkısının SrAl₂O₄: Eu, Dy yapısının termal, mineralojik ve morfolojik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lüminesans, Nanolif, Elektroçirme, Sol-jel, Faz kararlılığı

Effect of Boron Doping on Phase Stability of SrAl₂O₄ : Eu⁺², Dy⁺³ Nanofibers

Abstract

In this study, three varied groups as pristine, europium and dysprosium doped SrAl₂O₄ and boron doped SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺ phosphorus materials were prepared by sol-gel method. In sol-gel method the nitrates of aluminum, strontium, europium and dysprosium were used as precursors. To see the effect of boron additive on phase stability of nanofibers, different ratios of boron were added. In the experimental studies, as process variables during the electrospinning method; the effect of the applied voltage, the distance between the syringe needle and collector plate were examined. The characterization of phosphorescence samples was carried out with DSC/TG, XRD and SEM. As a result of DSC/TG of powders total weight losses were 68.98% for SrO.Al₂O₃.xB₂O₃, 65.43% for SrO.Al₂O₃.xB₂O₃ x=0.2 and 69.87% for SrO.Al₂O₃.xB₂O₃ x=0.4 between 25°C and 1300°C. As a result of XRD analysis of the

* Sorumlu Yazar: Atilla Evcin, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0163-5097, evcin@aku.edu.tr

synthesized powders the structure was observed to be in monoclinic SrAl_2O_4 form in the pristine and Eu-Dy doped samples and turn into orthorhombic crystal-structured $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$ structure. The fiber size and distribution have been determined by FibrQuant 1.3 software and the SEM images. The average diameters of the fibers were 604 nm, 419 nm and 285 nm for $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$, $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ $x=0.2$ and $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ $x=0.4$, respectively. Through examining the SEM photos of nanofibers, it's observed that boron additive has a significant effect on nanofiber structure and with the increase in the boron amount, much order and much small-diameter nanofibers occur. Consequently, it is determined that boron additive has a significant effect on thermal, mineralogical and morphological properties of SrAl_2O_4 : Eu, Dy structure.

Keywords: Luminescence, Nanofiber, Electrospinning, Sol-gel, Phase stabilization.

1. Introduction

Phosphorus materials are energy storage materials can absorb luminous energy under a visible or UV light source and then glows on darkness by emitting stored energy (Chang et al 2004, Lin et al 2001). Photoluminescence materials are discovered and began to study a long time ago. At the beginning, Co, Cu and Mn doped zinc sulphide was estimated as leading of luminescence substances (Chang et al 2006, Nakauchi et al 2018, Hu et al 2018, Yadav and Rai 2018, Garcia et al 2018). Unfortunately, it could only provide phosphorescence no more than 1-2 hours and its chemical stability was insufficient (Chang et al 2006). Accordingly, strontium aluminates draw attention recently due to their thermally, chemically stable structure and several properties and high quantum efficiency compared to traditional zinc based sulphides (Lai et al 2013, Kim et al 2013, Nag and Kutty 2004, Smets et al 1989, Shafia et al 2014). Moreover, Eu^{2+} and Dy^{3+} doped strontium aluminates exhibit such a prolonged afterglow performance, more than ten times compared to the phosphors (Hu et al 2018, Shafia et al 2014, Liu et al 2005).

$\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ system, has many members like SrAl_2O_4 , $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$, $\text{Sr}_2\text{Al}_6\text{O}_{11}$ and $\text{SrAl}_{14}\text{O}_{25}$ (Nag and Kutty 2003, Hernandez Alvarado et al 2018). There are several chemical synthesis techniques to prepare strontium aluminate such as solid state reaction, chemical precipitation, combustion reaction, sol-gel method, microwave techniques (Xiao et al 2010, Lu et al 2004, Chen and Chen 2001). The compound SrAl_2O_4 has hexagonal and monoclinic polymorphs phase. They present luminescence effects when doped with rare earth elements (Lin et al 2001, Jia et al 1998).

In this study, we developed 0,01 % mole Eu and Dy-doped strontium aluminate and 0, 0.2, 0.4 % mole boron doped strontium aluminate (Eu, Dy) nanofibers by electro spinning at different parameters. The characterization of the produced strontium aluminate nanofibers was examined by XRD, SEM, and DSC/TGA. The effects of the diameter of the nanofibers and amount of the doped boron on the crystallographic and morphological characteristics of the produced nanofibers were characterized by using data obtained from XRD and SEM measurements, respectively.

2. Material and Method

The precursor materials used were analytical grade and supplied from Merck A.G. The nitrates of aluminum and strontium, $[\text{Al}(\text{NO}_3)_3]$ and $[\text{Sr}(\text{NO}_3)_2]$ were both dissolved in ethyl alcohol and they were vigorously mixed for 1 h at ambient temperature. The nitrates of Eu and Dy $[\text{Dy}(\text{NO}_3)_3]$ and $[\text{Eu}(\text{NO}_3)_3]$ were both mixed in 1 mL deionized water, and then both solutions were stirred while the molar stoichiometry was 1:0.01:0.01 for Sr/Eu/Dy, respectively. In order to see the effect of boron additives, forming the basis of the study, boron alkoxide $[\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3]$ was added in different proportions (0%, 0.2% and 0.4% mole) to the mixture obtained (Fig. 1).

Then, polymer solution was prepared mixing 0.5 g polyvinylpyrrolidone (PVP, Aldrich, $(\text{C}_6\text{H}_9\text{NO})_x$, $M_w = 1,300,000$ g/mol) in 10 mL ethyl alcohol (Sigma-Aldrich, $\geq 99.8\%$). First solution was poured into the last polymer solution. Finally we got a homogeneous polymer solution and loaded it into a plastic syringe of the pump.

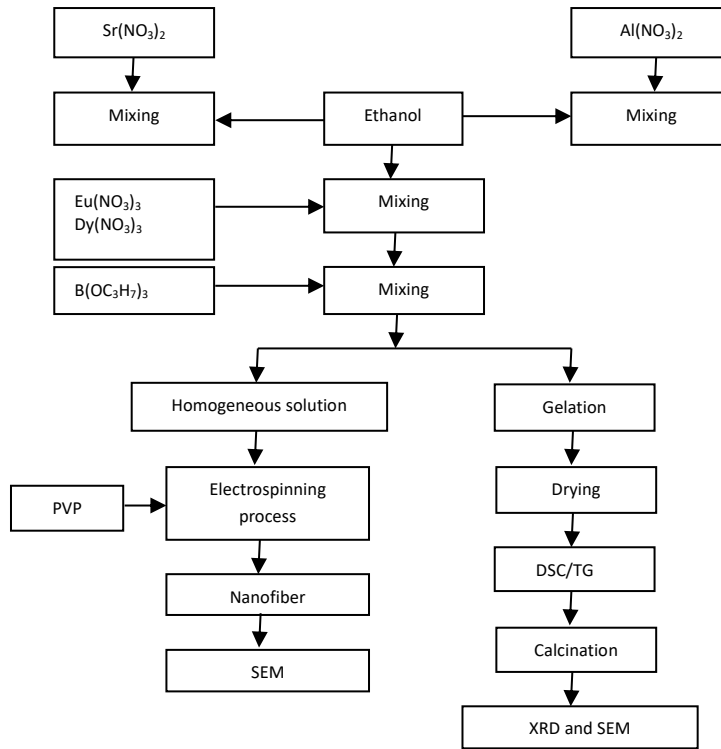


Figure 1: Experimental flowchart.

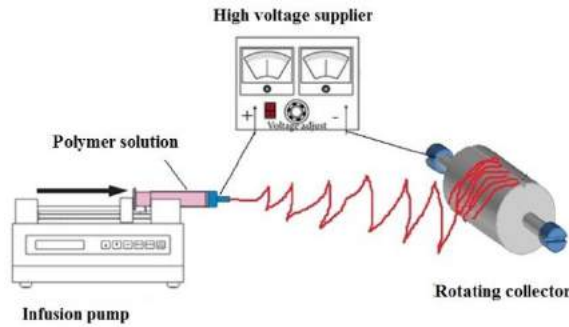


Figure 2: Schematic of electrospinning set up (Evcin and Ekşi 2018).

The electrospinning set up is shown in Fig. 2. As given from Fig. 2, an electrospinning process consists of 3 main parts, such as infusion pump (Syringe Pump Top-5300), high voltage supplier (Gamma ES30) and collector (Bezir et al 2015). Firstly, SrAl₂O₄: Eu, Dy and boron-doped SrAl₂O₄: Eu, Dy nanofibers on collector were prepared. We examined three distances (4, 6 and 8 cm) and three voltages (15, 20 and 25 kV) for a constant flow rate of the solution (0.5 mLh⁻¹).

Some of the latest obtained solution were heated for 5 hours at 300 °C and formed in a white foamy gel. The gel obtained was dried in an oven at 105 °C through keeping one day. By analyzing the dried gels in respect of DSC/TGA (Netzsch STA449F3), the calcination temperature and weight loss that will occur in samples were measured. Powders were calcined using alumina substrates in N₂ atmosphere for 4 h at 1200 °C to remove residual carbon and organics from starting materials. Crystal phase identification of the powder samples were performed by XRD (Shimadzu 6000) with CuK α radiation ($\lambda=1.5418$ Å) at 40 kV and 100 mA. The morphology, average fiber diameter of nanofibers and average grain size of powders were characterized by SEM (Leo 1430 VP).

3. Results and Discussion

DSC/TG analysis show that (Fig. 3a-c), great weight loss and endothermic reaction at the temperatures between 25 and 179.2 °C take place due to left of the moisture that the starting materials contain, organic volatile components and the solvents. The other endothermic peaks between 628.2 and 722.6 °C are thermal decomposition of Al and Sr hydroxide, which is also supported by the occurred weight losses. Upon comparing the analysis of strontium aluminate without additive and with Eu and Dy additive, it is seen that a slight dislocation in the peak occur. It is thought that exothermic peaks in the Fig. 3b and 3c between 947.6 and 939.5 °C are resulted from the change of the crystal structure of strontium aluminate with the additives of Eu, Dy and B. As it is also stated by lots of researchers that boron additive has a flux effect, it's normal to give peaks in the lower temperatures (Lai et al 2013, Nag and Kutty 2004, Nag and Kutty 2003, Niittykoski et al 2004).

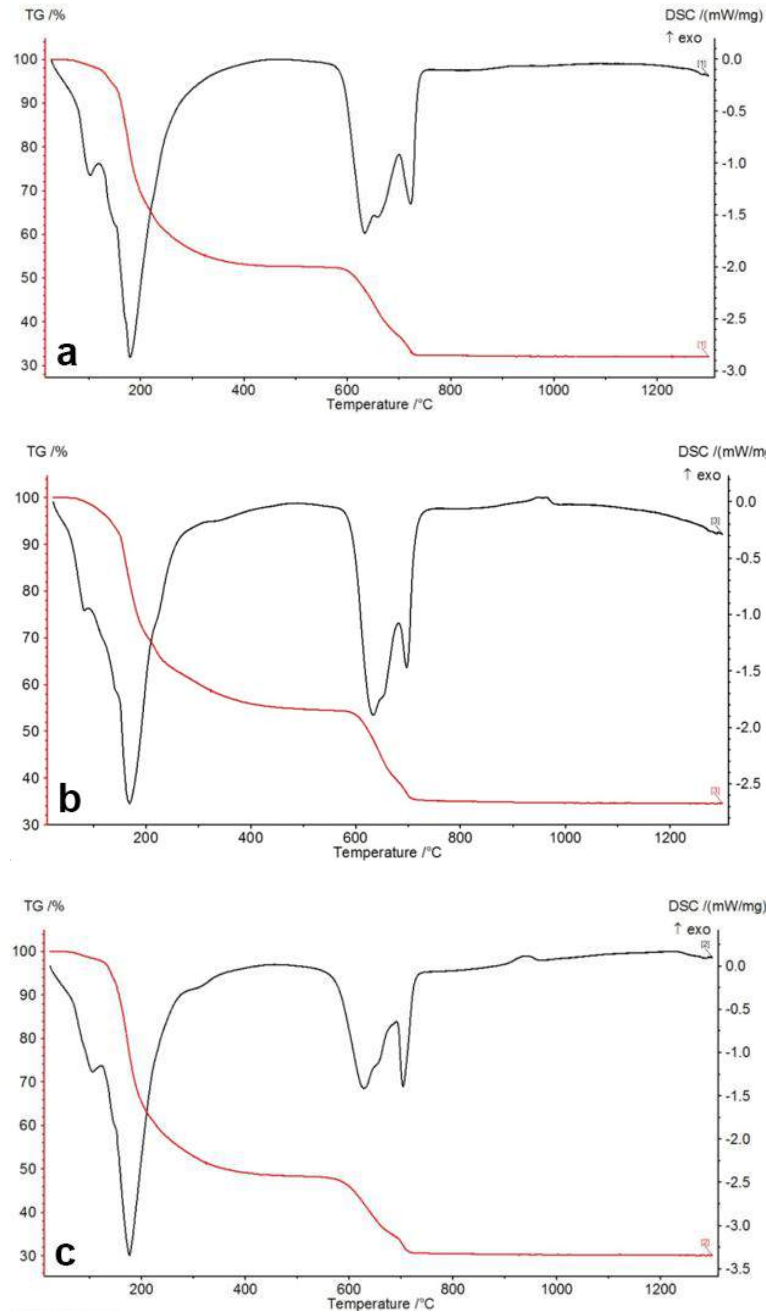


Figure 3: DSC/TG analysis of (a) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0$ (b) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x \text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0.2$ (c) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x \text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0.4$.

As indicated in Fig. 4, because there is no change in the XRD analysis of the produced powders without additive and with 0.01 mole Eu-Dy additive, only the XRD peaks of the sample with Eu-Dy additive have been given in the text. Similar results have been obtained in the literature, too and it is seen that the powder belongs to monoclinic SrAl_2O_4 (Hu et al 2018, Arıkan 2010, Karakaş 2010, Sasaki et al 2018).

Upon examining the XRD patterns in the Fig. 4a-c, it is seen that $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$ form with orthorhombic crystal structure, which is another strontium aluminate, occurs besides SrAl_2O_4 structure with the increasing boric additive. It's seen that the structure turns into $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$ completely with the boric additive in the 0.4 mole (% 40) rate. The existence of boron oxide has quickened phase formation of $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$ by acting as a high temperature solvent, and via the reaction of boron oxide and SrAl_2O_4 , it has turned into $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$ phase. In the literature, it seen that strontium aluminate with 1 mole (% 100) boron additive turns into crystalline strontium aluminate borate ($\text{SrAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) as a glassy phase. In our study, it is thought that probably occurring strontium aluminate borate are not observed in XRD analysis because they stay in amorphous structure [3,5,10,26-30]. As it can be indicated in Fig. 1, prepared solutions have been bisected, and the first one has been crushed into powder and the other has been produced as nanofiber. Both samples have been

analyzed morphologically with the SEM. As it is seen in Fig. 5a-c, it is determined that general structure sizes about 1 μm , it has not an obvious form and shaped, by spherical grains and has a homogenous distribution (Arıkan 2010, Rojas-Hernandez et al 2018, Luitel 2010, Luitel et al 2013, Thompson 2007). The increases of contact points of between the grains in the structure and neck formation have been observed.

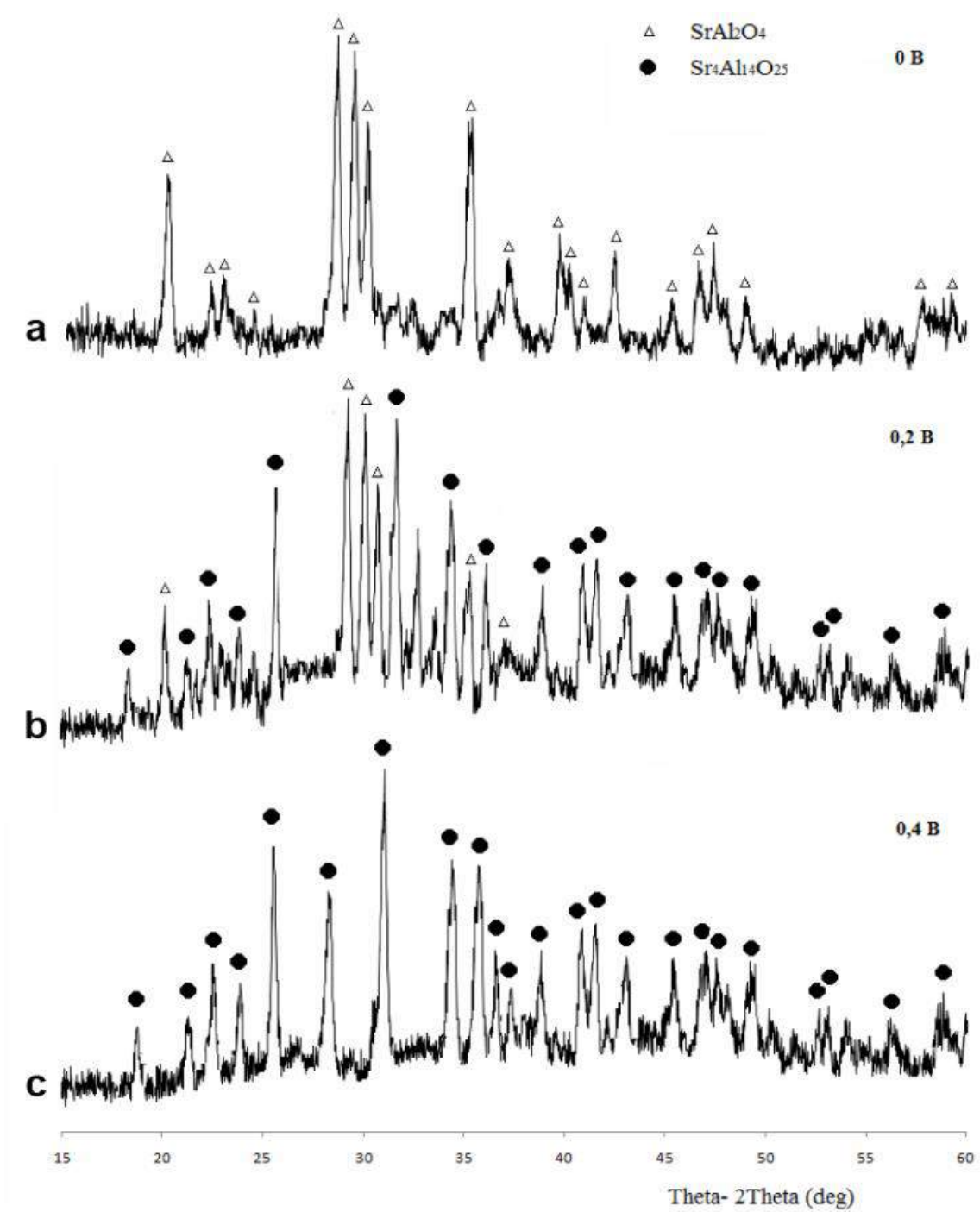


Figure 4: XRD analysis of (a) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0$ (b) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0.2$ (c) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0.4$.

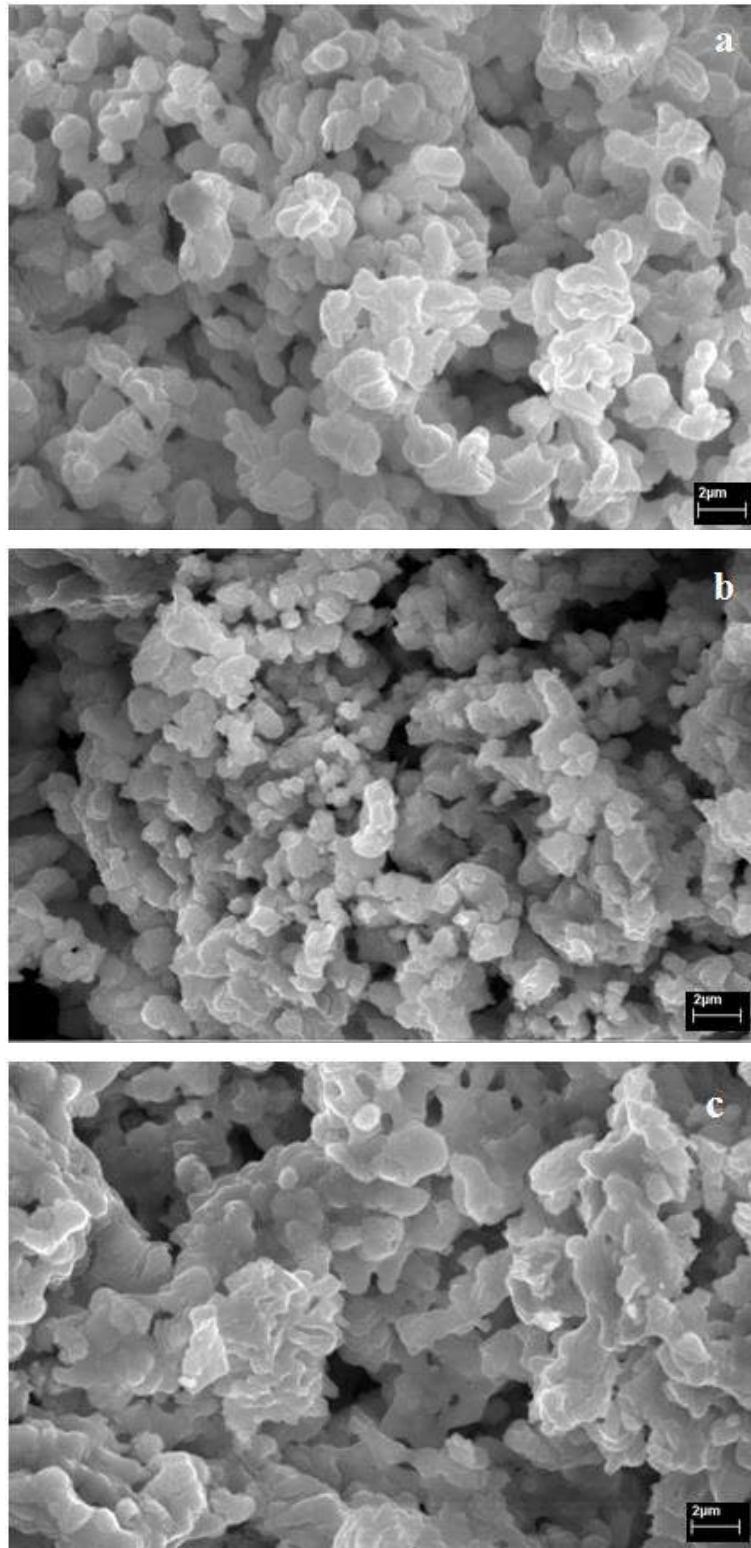


Figure 5: SEM images (10 kX) of (a) $\text{SrO}.\text{Al}_2\text{O}_3.x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0$ (b) $\text{SrO}.\text{Al}_2\text{O}_3.x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0.2$ (c) $\text{SrO}.\text{Al}_2\text{O}_3.x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0.4$.

The other part of the prepared strontium aluminate solvent has been made fiber in the electrospinning process under different conditions. These fibers produced in the optimum conditions (Distances: 6 cm, voltage: 20 kV, flow rate: 0.5 mL/hr) have been taken SEM photos by covering carbon in the BAL-TEC SCD 005 modelled device and shown in the Fig. 6(a-c). Upon examining the SEM images, morphology of nanofibers have been investigated. It is obvious that Eu, Dy and B additive cause shortening in the nanofiber diameters. As well, more homogeneous and thinner fibers have been obtained upon the increase in boron additive.

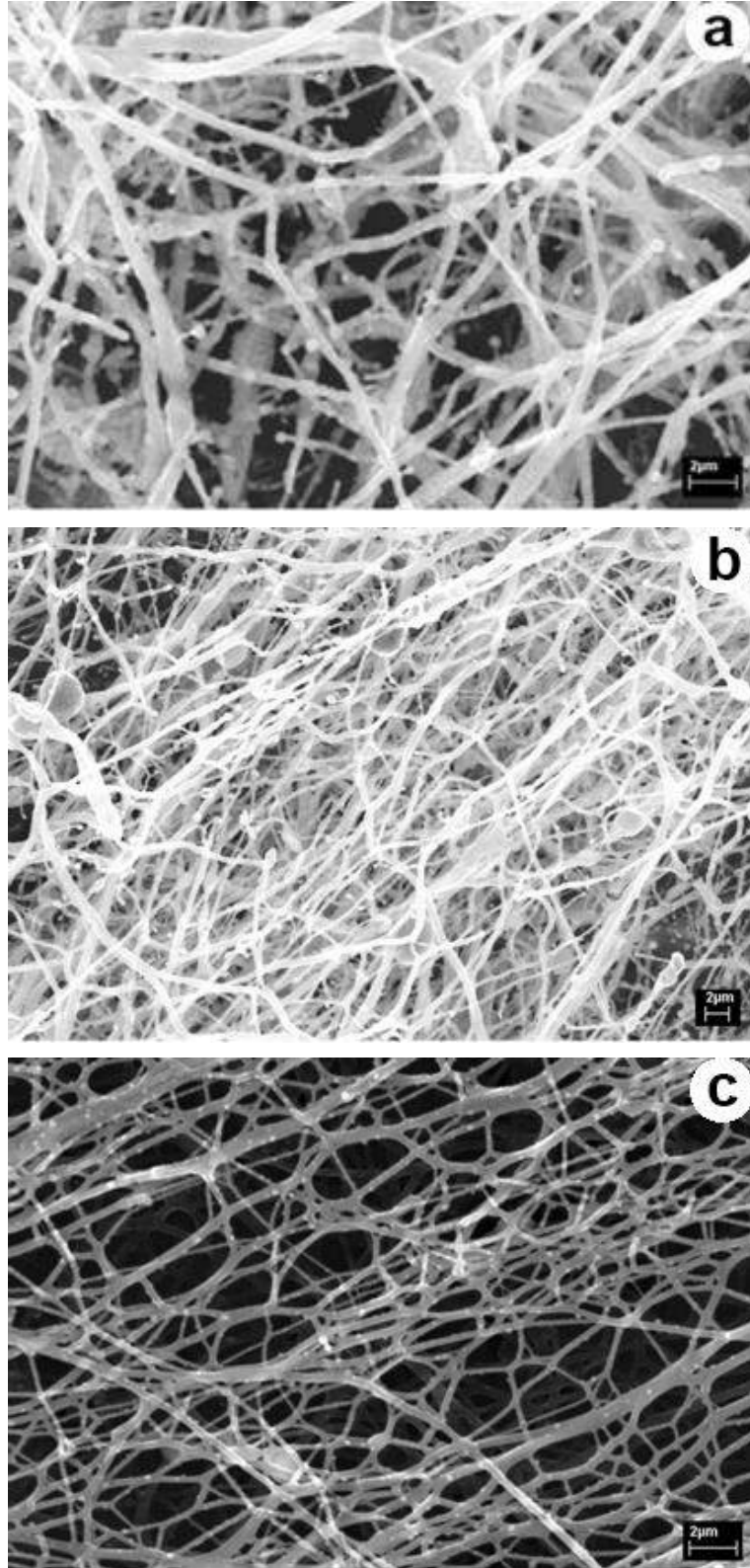


Figure 6: SEM images of Strontium aluminate nanofibers (10 kX) (a) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0$ (b) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0.2$ (c) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) $x=0.4$.

The fiber morphology and distribution have been determined by FibraQuant 1.3 software and the SEM images (Fig 7). The measured average thicknesses and other data of Strontium aluminate nanofibers are given in Table 1.

The average diameters of the fibers have been found out as below 1 µm. However; a comparison could not have been done as there is not a study in this area in the literature.

Table 1: Average diameter thickness, standard deviation, mean value, number of the measured nanofibers, and image analysis of nanofibers.

Samples	Fiber diameter (nm)			Measurements	Image Analyzed (%)
	Average	Std Dev	Median		
$\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$	604	315	546	535	100%
$\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ x=0.2	419	207	394	777	100%
$\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ x=0.4	285	162	248	855	100%

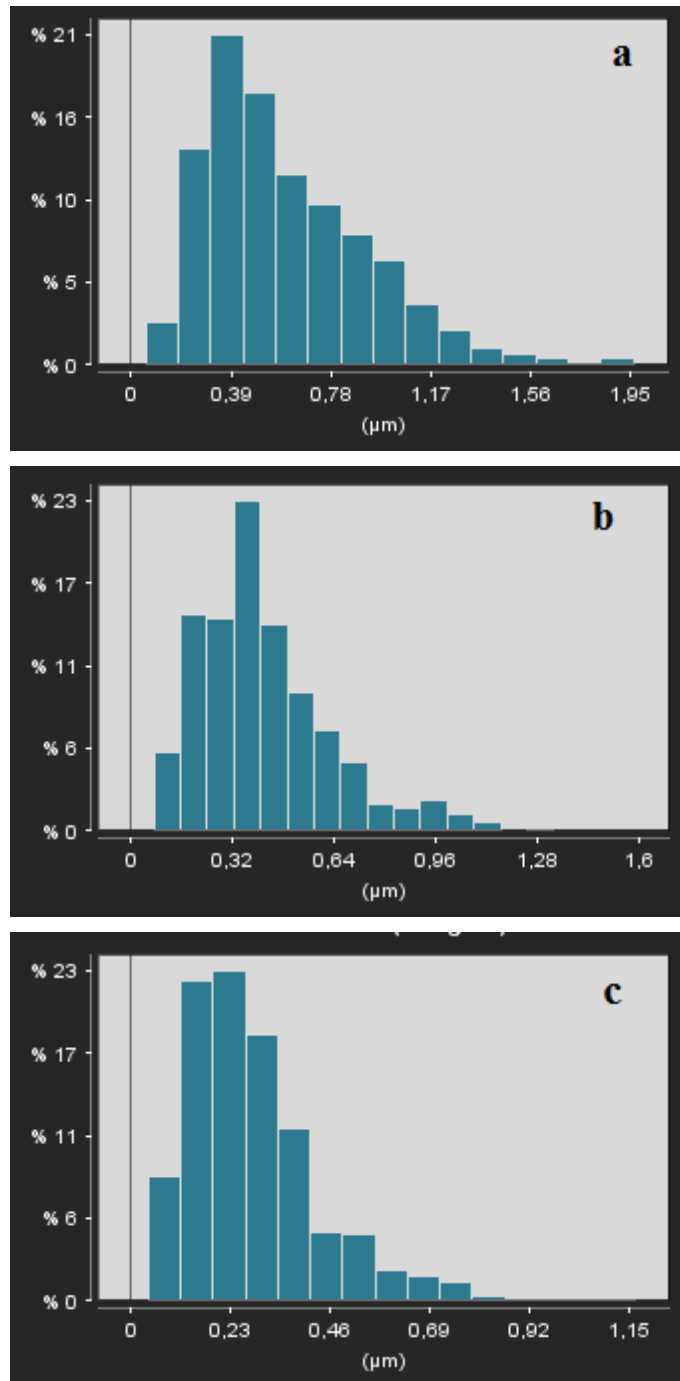


Figure 7: Fiber diameter histograms of Strontium aluminate nanofibers (a) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) x=0 (b) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) x=0.2 (c) $\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3$ (Eu, Dy) x=0.4.

4. Conclusion

By experimental studies, SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺ and doped SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺xB₂O₃ (x=0, 0.2 and 0.4) powders and nanofiber synthesized successfully. Moreover, SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺ nanofibers synthesized successfully for the first time in literature.

Prepared solutions subjected to thermal characterization DTA/TG tests to find out weight losses as a result of endothermic and exothermic reactions in structure related directly to temperature variation. Within these results, calcination temperature was decided to be 1200 °C where any reaction does not occur and graph is constant. Afterwards powders and nanofibers subjected to heat treatment at this temperature.

XRD results indicate that pristine and Eu-Dy doped SrAl₂O₄ examples have monoclinic structure where boron doped examples crystal structure shifting orthorhombic Sr₄Al₁₄O₂₅ phase. As it shown in SEM photos, powders are sub-micron, homogenous and close to spherical. Boron doping caused an increased number of contact points and enhanced neck formation. Boron doping also has significant effect on nanofiber morphology and increasing rate of boron, leads fibers to be a smaller diameter and much ordered.

After all, boron doping is considerably influencing thermal, mineralogical and morphological properties of SrAl₂O₄: Eu²⁺, Dy³⁺ structure.

5. Acknowledgements

This study was financially supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Afyon Kocatepe University (No:13.MUH.02).

6. References

- Arıkan M. O. (2010) Synthesis Of Strontium Aluminate Based Phosphorescence Material By Solid State Reaction Method, MSc Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- Bezir N. Ç., Evcin A., Kayalı R., Kaşıkçı Özen M., Oktay A. (2015) Investigation of structural, electronic and optical properties of Ag-doped TiO₂ nanofibers fabricated by electrospinning. *Crystal Research and Technology*, 51, 65–73. doi: [10.1002/crat.201500159](https://doi.org/10.1002/crat.201500159)
- Chang C. K., Jiang L., Mao D. L., Feng C. L. (2004) Photoluminescence of 4SrO·7Al₂O₃ ceramics sintered with the aid of B₂O₃. *Ceramics International*, 30, 285–290. doi: 10.1016/S0272-8842(03)00101-9
- Chang C., Yuan Z., Mao D. (2006) Eu²⁺ activated long persistent strontium aluminate nano scaled phosphor prepared by precipitation method. *Journal of Alloys and Compounds*, 415, 220–224. doi: [10.1016/j.jallcom.2005.04.219](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.04.219)
- Chang Y. L., Hsiang H. I., Liang M. T. (2008) Characterizations of Eu, Dy co-doped SrAl₂O₄ phosphors prepared by the solid-state reaction with B₂O₃ addition. *Journal of Alloys and Compounds*, 461, 598–603. doi: [10.1016/j.jallcom.2007.07.078](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.07.078)
- Chen I. C., Chen T. M. (2001) Sol-gel synthesis and the effect of boron addition on the phosphorescent properties of SrAl₂O₄ Eu²⁺, Dy³⁺-phosphors. *Journal of Materials Research*, 16, 644–651. doi: 10.1557/JMR.2001.0122
- Evcin A. and Ekşi F. (2018) SiO₂ doped Carbon Nanofiber by Electrospinning. *AIP Conference Proceedings* 2042, 020002. doi: [10.1063/1.5078874](https://doi.org/10.1063/1.5078874)
- García C. R., Oliva J., Arroyo A., Garcia-Lobato M. A., Gomez-Solis C., Diaz Torres L. A.. (2018) Photocatalytic activity of bismuth doped SrAl₂O₄ ceramic powders. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 351, 245–252. doi: [10.1016/j.jphotochem.2017.10.039](https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2017.10.039)
- Hernández-Alvarado G. J., Montemayor S. M., Moggio I., Arias E., Trujillo-Vázquez E., Díaz-Guillén J. A., Ávila-Orta C. A., Rodríguez-Fernández O. S. (2018) Synthesis at room atmosphere conditions of phosphorescent emitter SrAl₂O₄:Eu,Dy. *Ceramics International*, 44, 11, 12789–12796. doi: [10.1016/j.ceramint.2018.04.085](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.04.085)
- Hu X., Yang H., Guo T., Shu D., Shan W., Li G., Guo D. (2018) Preparation and properties of Eu and Dy co-doped strontium aluminate long afterglow nanomaterials. *Ceramics International*, 44, 7, 7535–7544. doi: [10.1016/j.ceramint.2018.01.157](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.01.157)
- Jia W., Yuan H., Lu L., Liu H., Yen W. M. (1998) Phosphorescent dynamics in SrAl₂O₄: Eu²⁺, Dy³⁺ single crystal fibers. *Journal of Luminescence*, 76–77, 424–428. doi: [10.1016/S0022-2313\(97\)00230-5](https://doi.org/10.1016/S0022-2313(97)00230-5)
- Karakaş Ç. (2010) Synthesis Of Strontium Aluminates Phosphorescence Material By Modified Sol-gel Process, MSc Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.

- Kim B. J., Hasan Z., Kim J. K. (2013) Synthesis and characterization of long persistence Sr₄Al₁₄O₂₅:Eu²⁺, Dy³⁺ phosphor prepared by combustion method. *Journal of Ceramic Processing Research*, 14, 601–605.
- Lai T. T., Chang C., Yang C. Y., Das S., Lu C. H. (2013) Influence of Bi₂O₃ flux in the structural and photoluminescence properties of SrAl₂O₄:Eu²⁺ phosphors. *Ceramics International*, 39, 159–163. doi: [10.1016/j.ceramint.2012.06.004](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.06.004)
- Lin Y., Tang Z., Zhang Z. (2001) Preparation of Long-Afterglow Sr₄Al₁₄O₂₅-Based Luminescent Material and Its Optical Properties. *Materials Letters*, 51, 14–18. doi: [10.1016/S0167-577X\(01\)00257-9](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(01)00257-9)
- Lin Y., Zhang Z., Tang Z., Zhang J., Zheng Z., Lu X. (2001) The characterization and mechanism of long afterglow in alkaline earth aluminates phosphors co-doped by Eu₂O₃ and Dy₂O₃. *Materials Chemistry and Physics*, 70, 156–159. doi: [10.1016/S0254-0584\(00\)00500-9](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(00)00500-9)
- Liu Y., Lei B., Shi C. (2005) Luminescent properties of a white afterglow phosphor CdSiO₃:Dy³⁺. *Chemistry of Materials*, 17, 2108–2113. doi: 10.1021/cm0496422
- Lu Y., Li Y., Xiong Y., Wang D., Yin Q. (2004) SrAl₂O₄: Eu²⁺, Dy³⁺ phosphors derived from a new sol–gel route. *Microelectronics Journal*, 35, 379–382, 2004. doi: [10.1016/S0026-2692\(03\)00250-7](https://doi.org/10.1016/S0026-2692(03)00250-7)
- Luitel H. N. (2010) Preparation and Properties of Long Persistent Sr₄Al₁₄O₂₅ Phosphors Activated by Rare Earth Metal Ions, PhD Thesis, Saga University, Saha.
- Luitel H. N., Watari T., Chand R., Torikai T., Yada M. (2013) Giant improvement on the afterglow of Sr₄Al₁₄O₂₅: Eu²⁺, Dy³⁺ phosphor by systematic investigation on various parameters. *Journal of Materials*, 1-10. doi: 10.1155/2013/613090
- Nag A., Kutty T. R. N. (2003) Role of B₂O₃ on the phase stability and long phosphorescence of SrAl₂O₄:Eu, Dy. *Journal of Alloys and Compounds*, 354, 221–231. doi: [10.1016/S0925-8388\(03\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0925-8388(03)00009-4)
- Nag A., Kutty T. R. N. (2004) The mechanism of long phosphorescence of SrAl₂– xB_xO₄ (0 < x < 0.2) and Sr₄Al₁₄– xB_xO₂₅ (0.1 < x < 0.4) co-doped with Eu²⁺ and Dy³⁺. *Materials Research Bulletin*, 39, 331–342. doi: [10.1016/j.materresbull.2003.11.007](https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2003.11.007)
- Nakauchi D., Okada G., Masanori K., Kawano N., Kawaguchi N., Yanagida T. (2018) Photoluminescence and scintillation properties of Eu-doped strontium aluminate crystals. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 435, 273-277. doi: [10.1016/j.nimb.2018.01.007](https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.01.007)
- Niittykoski J., Aitasalo T., Hölsä J., Jungner H., Lastusaari M., Parkkinen M., Tukia M. (2004) Effect of boron substitution on the preparation and luminescence of Eu²⁺ doped strontium aluminates. *Journal of Alloys and Compounds*, 374, 108–111. doi: [10.1016/j.jallcom.2003.11.078](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2003.11.078)
- Rojas-Hernandez R. E., Rubio-Marcos F., Rodriguez M. A., Fernandez J. F. (2018) Long lasting phosphors: SrAl₂O₄:Eu, Dy as the most studied material. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2759-277. doi: [10.1016/j.rser.2017.06.081](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.081)
- Sasaki T., Fukushima J., Hayashi Y., Takizawa H. (2018) Synthesis and photoluminescence properties of a novel Sr₂Al₆O₁₁:Mn⁴⁺ red phosphor prepared with a B₂O₃ flux. *Journal of Luminescence*, 194, 446-451. doi: [10.1016/j.jlumin.2017.10.076](https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2017.10.076)
- Shafia E., Bodaghi M., Esposito S., Aghaei A. (2014) A critical role of pH in the combustion synthesis of nano-sized SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺ phosphor. *Ceramics International* 40, 4697–4706. doi: 10.1016/j.ceramint.2013.09.011
- Smets S., Rutten J., Hoeks G., Verlijsdonk J. (1989) 2SrO · 3Al₂O₃ : Eu²⁺ and 1.29 (Ba, Ca) O , 6Al₂O₃ : Eu²⁺ Two New Blue-Emitting Phosphors. *Journal of The Electrochemical Society*, 136, 2119–2123. doi: 10.1149/1.2097210
- Thompson N. (2007) An Approach to the Synthesis of Strontium Aluminate Based Nanophosphors, PhD Thesis, RMIT University, Melbourne.
- Xiao Q., Xiao L., Liu Y., Chen X., Li Y. (2010) Synthesis and Luminescence Properties of Needle-Like SrAl₂O₄: Eu, Dy Phosphor via a Hydrothermal Co-Precipitation Method. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 71, 1026–1030. doi: [10.1016/j.jpics.2010.04.017](https://doi.org/10.1016/j.jpics.2010.04.017)
- Yadav R. S., Rai S. B. (2018) Corrigendum to: Frequency upconversion and downshifting emissions in solution combustion derived Yb³⁺, Pr³⁺ co-doped strontium aluminate nano-phosphor: A multi-modal phosphor. *Journal of Luminescence*, 199, 528. doi: [10.1016/j.jlumin.2018.03.028](https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2018.03.028)



Çokamaçlı Kesirli Programlama Problemleri için Q- Taylor Metodu

Adem C. Cevikel^{1*}, Muttalip Ozavsar²

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7359-3156)

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-2345-6789)

(İlk Geliş Tarihi 14 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 12 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.540089)

ATIF: Cevikel, A. C. ve Ozavsar, M. (2019). Çokamaçlı Kesirli Programlama Problemleri için Q- Taylor Metodu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 26-31.

Özet

Bu çalışmada, çok amaçlı lineer kesirli programlama problemlerinin (ÇALKPP) çözümleri için uygun bölgedeki her bir kesirli amaç fonksiyonunun optimal noktalarında amaç fonksiyonlarının birinci dereceden q -Taylor seri açılımları sunulmuştur. Q-Analizde, q -Taylor serisi q -Türevlerine göre bir fonksiyonun q -Serisine genişlemesidir. ÇALKPP problemi, kendisine denk olan çok amaçlı lineer programlama problemlerini (ÇALPP) problemine indirgenmiştir. Amaç fonksiyonlarının ağırlıklarının eşit olduğu kabulü altında ÇALPP çözüldü. Böylece problem tek amaca indirgenmiş oldu. Sunulan metod ile elde edilen çözümler etkin çözümlerdir. Bu sayede ÇALPP problemlerinin çözümündeki karmaşıklık giderilmiş olundu ve sunulan metodun etkinliğini göstermek için bir problem üzerinde uygulanması yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Çok amaçlı programlama, Çok amaçlı lineer kesirli programlama, Q-Analiz, Q-Taylor serisi.

Q-Taylor Method for Multiobjective Fractional Programming Problem

Abstract

In this work, we have proposed a solution to Multi Objective Linear Fractional Programming Problem (MOLFPP) by using the first-order q -Taylor expansion of these objective functions at optimal points of each fractional objective functions in feasible region. In q -calculus, q -Taylor series is a q -series expansion of a function with respect to q -derivatives. MOLFPP reduces to an equivalent Multi Objective Linear Programming Problem (MOLPP). The resulting MOLPP is solved assuming that weights of these objective functions are equal and considering the sum of these objective functions. Thus, the problem is reduced to a single objective. The proposed solution to MOLFPP always yields efficient solution. Therefore, the complexity in solving MOLFPP has reduced and to show the efficiency of the q -Taylor series method, we applied the method to a problem.

Key words: Multiobjective programming, Multiobjective linear fractional programming, Q-Calculus, Q-Taylor series.

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7359-3156, acevikel@yildiz.edu.tr

1. Introduction

The fractional programming problem (FPP), which has been used as an important planning tool in recent years, is applied to different disciplines such as engineering, business, finance, economics, etc. FP is generally used for modeling real life problems with one or more objectives such as profit/cost, inventory/sales, actual cost/ standart cost, output/employee etc.

In the literature, different approaches appear to solve different models of Fractional Programming Problem (FPP). They are that FPP can be optimised easily. But, in the great scale decision problems, there is more than one objective, which must be satisfied at the same time as possible. However, most of these are fractional objectives. It is difficult to talk about the optimal solutions of these problems. The solutions searched for these problems are weak efficient or strong efficient.

The multiobjective fractional programming problem (MOFP) is considered in the literature. [2, 5, 6, 8, 9]. Multiobjective Linear Fractional Programming Problem (MOLFPP) pose some computational difficulties, so they are converted into single objective FPPs and then solved using the metod of Bitran and Novaes [1] or Charnes and Cooper [3].

In this paper, we proposed a solution to MOFP using the first order q -Taylor polynomial series method at an optimal point of each fractional objective function in feasible region.

2. Preliminaries

Definition: If the numerator and denominator in the objective function as well as the constraints are linear, we have a linear fractional programming problem (LFPP) as follows:

$$\begin{aligned} & \text{Optimize } \frac{cx + \alpha}{dx + \beta}, \\ & \text{s.t.: } x \in S = \left\{ x \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b, x \geq 0 \right\} \end{aligned} \tag{2.1}$$

where A is a real $m \times n$ matrix, $b \in R^m$, $x \in R^n$ and S is a nonempty and bounded set. For some values of x , $dx + \beta$ may be equal to zero. To avoid such cases, is generally set to be greater than zero.

Charnes and Cooper [3] showed that if the denominator is constant in sign on the feasible region, the LFPP can be optimized by solving a linear programming problem. However, in many applications, there are two or more conflicting objective functions which are relevant, and some compromise must be bought between them. Such types of problems are inherently multiobjective linear fractional programming problems and can be written as:

$$\begin{aligned} & \text{Optimize } Z_k(x) = \frac{c_k x + \alpha_k}{d_k x + \beta_k}, k = 1, \dots, K \\ & \text{s.t.: } x \in S = \left\{ x \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b, x \geq 0 \right\} \end{aligned} \tag{2.2}$$

where S, A, b and x are as defined in problem (2.1), and $\forall x \in S, d_k x + \beta_k > 0$ ($k=1, \dots, K$).

Definition: Let $q \in (0, 1)$. A q - natural number $[n]_q$ is given by

$$[n]_q := \frac{1 - q^n}{1 - q}, n \in N \tag{2.3}$$

The factorial of a q -number $[n]_q$ is defined by

$$[0]_q ! := 1, [n]_q ! := [n]_q \cdot [n-1]_q \dots [1]_q \tag{2.4}$$

q -Pachammer symbol is:

$$(z-a)^{(0)} := 1, (z-a)^{(k)} := \prod_{i=0}^{k-1} (z-aq^i), k \in N. \tag{2.5}$$

Definition: Let $f : D \subset R \rightarrow R$ be a continuous function. In q -calculus [4], the q -derivative of f is defined by the operator

$$D_q(f(x)) := \frac{f(q.x) - f(x)}{(q-1).x}, x \neq 0, q \neq 1, \tag{2.6}$$

$$D_q(f(0)) := \lim_{x \rightarrow 0} (D_q(f(x))). \tag{2.7}$$

Notice that f should be continuous at the point $q.x$ for all $x \in D$ and $q \in (0,1)$.

Definition: Let $f : D \subset R \rightarrow R$ be a multivariable continuous function, the q -partial derivative of f is given by

$$D_{q x_i} f(x) := \frac{f(Q_i(x)) - f(x)}{(q-1).x_i}, x_i \neq 0, \tag{2.8}$$

$$x := (x_1, x_2, \dots, x_n) \in D, i = 1, \dots, n$$

$$D_{q x_i} f(x)|_{x_i=0} = \lim_{x_i \rightarrow 0} (D_{q x_i} f(x)) \tag{2.9}$$

Where Q_i acting on R^n is an operator defined by

$$Q_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n) := (x_1, x_2, \dots, q.x_i, \dots, x_n) \tag{2.10}$$

Lemma: Operators $D_{q.x_i}, i = 1, 2, \dots, n$ are R -linear operators.

Definition: Higher order q -partial operator is defined by

$$D_{q x_i^m x_j^n}^{m+n} f(x) := D_{q x_i^m}^m (D_{q x_j^n}^n f(x)) \tag{2.11}$$

where

$$D_{q x_i^m x_j^n}^{m+n} = D_{q x_j^n x_i^m}^{m+n}, m, n = 0, 1, 2, \dots \tag{2.12}$$

Definition: Let $a = (a_1, a_2, \dots, a_n) \in R^n$ be a arbitrary, but fixed and $f : D \subseteq R^n \rightarrow R$ be a continuous. If f has all the q -partial derivations at a , then the q -differential corresponding to a is defined by

$$d_q f(x, a) = ((x_1 - a_1).D_{q.x_1} + (x_2 - a_2).D_{q.x_2} + \dots + (x_n - a_n).D_{q.x_n}) f(a) \tag{2.13}$$

and higher order the q -differential:

$$\begin{aligned} d_q^{(k)} f(x, a) &= ((x_1 - a_1).D_{q.x_1} + (x_2 - a_2).D_{q.x_2} + \dots + (x_n - a_n).D_{q.x_n})^{(k)} f(a) \\ &= \sum_{\substack{i_1 + \dots + i_n = k \\ i_j \in N}} \left(\frac{[k]_q!}{[i_1]_q! [i_2]_q! \dots [i_n]_q!} \right) D_{q x_1^{i_1} \dots x_n^{i_n}}^k f(a) \prod_{j=0}^n (x_j - a_j)^{(i_j)} \end{aligned} \tag{2.14}$$

Notice that a continuous function $f(x)$ in a neighborhood of a that does not include any point with a zero coordinate, has also continuous q -partial derivatives.

Lemma: Let $f : D \subset R^n \rightarrow R$ be a function having all q -differentials in some neighborhood of $a \in D$. Then q -Taylor expansion of f at a is given by [7]

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{d_q^k f(x, a)}{[k]_q!}. \quad (2.15)$$

3. Q-Taylor Linerization Method for Objectives

In this section, we consider the MOLFP.

$$\text{If } Z_k(x) = \frac{c_k x + \alpha_k}{d_k x + \beta_k}, \quad k = 1, \dots, K, \text{ then}$$

$$\text{Max } Z(x) = (Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_k(x)), \quad (3.1)$$

$$\text{s.t. : } x \in S = \left\{ x \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b, x \geq 0 \right\}$$

where S, A, b and x are as defined in problem (2.1), and $\forall x \in S, d_k x + \beta_k > 0$ ($k=1, \dots, K$).

We will transform the model (2.16) to a new model obtained by the following three steps:

Step 1: Determine $x_k^* = (x_{k1}^*, \dots, x_{kn}^*)$ which is the value that is used to maximize the k th objective function $Z_k(x)$ ($k = 1, \dots, K$) and n is the number of the variables.

Step 2: Transform each objective functions by using first-order q-Taylor polynomial series as follows:

$$\begin{aligned} Z_k(x) &\cong L_k(x) = \sum_{m=0}^1 \frac{d_q^m Z_k(x, x_k^*)}{[m]_q!} + O(h^2) \\ &= Z_k(x_k^*) + \left[(x_1 - x_{k1}^*) D_{q_{x_1}} Z_k(x_k^*) + \dots + (x_n - x_{kn}^*) D_{q_{x_n}} Z_k(x_k^*) \right] \\ &= Z_k(x_k^*) + \sum_{j=1}^n (x_j - x_{kj}^*) D_{q_{x_j}} Z_k(x_k^*) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Step 3: Find satisfactory $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ by solving the reduced problem to a single objective.

Note that problem is solved by assuming that weights of the objective are equal. Thus, the problem (3.1) reduces the following MOLPP

$$\text{Max } L(x) = (L_1(x), L_2(x), \dots, L_k(x)),$$

$$\text{s.t. : } x \in S = \left\{ x \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b, x \geq 0 \right\}. \quad (3.3)$$

We assume that the weights of objective functions in problem (3.3) are equal, then the problem (3.3) is transformed to the following linear programming problem:

$$\text{Max } P(x) = (L_1(x) + L_2(x) + \dots + L_k(x)),$$

$$\text{s.t. : } x \in S = \left\{ x \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b, x \geq 0 \right\}. \quad (3.4)$$

In problem (3.4), set X is non-empty convex set having feasible points. The optimal solution of problem (3.4) gives the efficient solution of MOLFP (3.1).

4. Numerical Example

Example: We consider an example

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } Z_1(x) = \frac{x_1 + x_2 - 4}{6x_1 + x_2 + 3} \\
 & \text{Maximize } Z_2(x) = \frac{x_1 - x_2 - 5}{x_2 + 1} \\
 & \text{Maximize } Z_3(x) = \frac{3x_1 + x_2 - 17}{-3x_1 + 16} \\
 & \text{Subject to } \quad -x_1 + x_2 \leq 3 \\
 & \quad \quad \quad x_1 + x_2 \leq 7 \\
 & \quad \quad \quad x_1 \leq 4 \\
 & \quad \quad \quad x_2 \leq 4 \\
 & \quad \quad \quad x_1, x_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

It is observed that $Z_1 < 0, Z_2 < 0, Z_3 < 0$ for each x in the feasible region. If the problem is solved for each of objectives one by one

$$Z_1^*(1,4) = \frac{-1}{13}, \text{ and } Z_2^*(4,1) = -1 \text{ and } Z_3^*(4,3) = \frac{-1}{2}.$$

Thus, we determine the first-order q -Taylor polynomial series (for $q = 0.99$) for the objective functions $Z_1(x)$, $Z_2(x)$ and $Z_3(x)$, then the following linearized forms of the objective functions are obtained:

$$\begin{aligned}
 L_1(x) &\cong Z_1(1,4) + \left[(x_1 - 1)D_{qx_1} Z_1(1,4) + (x_2 - 4)D_{qx_2} Z_1(1,4) \right] \\
 L_2(x) &\cong Z_2(4,1) + \left[(x_1 - 4)D_{qx_1} Z_2(4,1) + (x_2 - 1)D_{qx_2} Z_2(4,1) \right] \\
 L_3(x) &\cong Z_3(4,3) + \left[(x_1 - 4)D_{qx_1} Z_3(4,3) + (x_2 - 3)D_{qx_2} Z_3(4,3) \right]
 \end{aligned}$$

where from (2.8) and (2.9) are

$$\begin{aligned}
 D_{qx_1} Z_1(1,4) &= -0.041612174 \\
 D_{qx_2} Z_1(1,4) &= 0.083095917 \\
 D_{qx_1} Z_2(4,1) &= 0.254 \\
 D_{qx_2} Z_2(4,1) &= 0 \\
 D_{qx_1} Z_3(4,3) &= 0.36407767 \\
 D_{qx_2} Z_3(4,3) &= 0.25
 \end{aligned}$$

Thus we get

$$\begin{aligned}
 L_1(x) &\cong -0.041612174x_1 + 0.083095917x_2 - 0.3676945709 \\
 L_2(x) &\cong 0.254x_1 - 2 \\
 L_3(x) &\cong 0.36407767x_1 + 0.25x_2 - 2.70631068
 \end{aligned}$$

and

$$P(x) = L_1(x) + L_2(x) + L_3(x) = 0.572465496x_1 + 0.333095917x_2 - 5.074005251$$

Thus, the final form of the MOLFP problem is obtained as follows:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } P(x) \\ & \text{Subject to} \quad -x_1 + x_2 \leq 3 \\ & \quad \quad \quad x_1 + x_2 \leq 7 \\ & \quad \quad \quad x_1 \leq 4 \\ & \quad \quad \quad x_2 \leq 4 \\ & \quad \quad \quad x_1, x_2 \geq 0. \end{aligned}$$

The problem is solved and the solution of the above problem is as follows:

$$x_1 = 4, x_2 = 3 \text{ and } Z_1(x) = -1/6, Z_2(x) = -1 \text{ and } Z_3(x) = -1/2$$

4. Conclusions

In this paper, we computed the solutions of MOLFP using an efficient method which is based on q -calculus theories (in particular, first-order q -Taylor series). MOLFP is reduced to MOLPP by first-order q -Taylor series. We assumed that the weights of the objective are equal. Then, the proposed solution method was applied to a numerical example to test the effect of first-order q -Taylor series method. The results show that the proposed method is more effective.

References

- [1] Bitran G.R., Novaes A.G. (1973). Linear programming with a fractional objective function, *Operation Research* (21) 22–29.
- [2] Craven B.D. (1988). *Fractional Programming*, Heldermann Verlag, Berlin,
- [3] Charnes A., Cooper W. (1962). Programming with linear fractional functions, *Naval Research Logistics Quarterly* (9) 181-186.
- [4] Kac V., Cheung P. (2002). *Quantum Calculus*, Springer, New York,
- [5] Kornbluth J.S.H., Steuer R.E. (1981). Multiple objective linear fractional programming, *Management Science* (27) 1024–1039.
- [6] Nykowski I., Zolkiski Z. (1985). A compromise procedure for the multiple objective linear fractional programming problem, *European Journal of Operational Research* (19) 91–97.
- [7] Rajkovic P.M., Stankovic M.S., Marinkovic S.D. (2003). On q -iterative methods for solving equations and systems. *Novi Sad J.Math* (33) 127-137.
- [8] Saad O. (2007). On stability of proper efficient solutions in multiobjective fractional programming problems under fuzziness, *Mathematical and Computer Modelling* (45) 221–231.
- [9] M. Sakawa, K. Kato, Interactive decision-making for multiobjective linear fractional programming problems with block angular structure involving fuzzy numbers, *Fuzzy Sets and Systems* 97 (1988) 19--31.



Kaz Eti Tüketim Tercihleri ve İkame Ürünlerle Duyusal Analiz*

Selim Gündüz¹, Celile Dölekoğlu^{2†}, Dilek Say³

¹ Adana Alpaslan Türkçe Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü Sarıçam/Adana (ORCID: 0000-0001-5289-6089)

² Adana Alpaslan Türkçe Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü Sarıçam/Adana (ORCID: 0000-0003-4421-2956)

³ Çukurova Üniversitesi, Pozantı MYO, Pozantı/Adana (ORCID: 0000-0003-3932-6414)

(İlk Geliş Tarihi 1 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 20 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.565364)

ATIF/REFERENCE: Gündüz, S, Dölekoğlu, C. ve Say, D. (2019). Kaz Eti Tüketim Tercihleri ve İkame Ürünlerle Duyusal Analiz. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 32-40.

Öz

Dünyada ve Türkiye’de kaz yetiştiriciliği, diğer kümes hayvanlarına nazaran üreme seviyelerinin düşük olması sebebiyle geride kalmıştır. Ancak, kaz etinin önemli düzeydeki besleyici değeri, yüksek protein seviyesi, düşük kolesterol içeriği, karaciğerinin zengin vitamin değerine sahip olması ve kaz tüyünün de oldukça kıymetli olması kaz yetiştiriciliğinin önemini de son yıllarda artırmıştır. Birçok ülkede kaz eti tüm bu özellikleri nedeniyle tüketilmesine rağmen Türkiye’de sadece belirli bölgelerde yöresel kültürün bir parçası olarak tüketilmekte ve ülke genelinde yeterince tanınmamaktadır. Bu çalışmada, geleneksel ve arka bahçe yetiştiriciliği ile Doğu ve Orta Anadolu bölgelerinde üretilen ve tüketilen kazın son yıllarda farklı bölgelerde de talep edilmesi ile özellikle iç ve dış piyasada önemli bir pazar yaratacağı öngörüsüyle, kaz eti tüketimi ile ilgili duyusal analiz ve tüketim araştırması yapılması amaçlanmıştır. Çalışmanın materyalini Kars, Ardahan ve Iğdır illerinden katılımcıların oluşturduğu, Adana’da organize edilen “Geleneksel Kaz Gecesi” etkinliğine katılanlar arasından kolayda örnekleme tekniği ile seçilen 363 kişiyle yüz yüze görüşme tekniği ile gerçekleştirilen anket formlarından elde edilen veriler oluşturmaktadır. Anketler, kaz etinin kırmızı et, tavuk eti ve hindi etine göre görünüş, koku, doku, tat ve genel kabul edilebilirlik kriterlerinin karşılaştırılarak duyusal açıdan kişilerin tercihlerinin belirlenmesi ve sonucunda da ikame ürünlere göre tüketimde tercih edilebilirliğinin daha net ölçülebilmesi için, katılımcılara kaz eti ikramından sonra uygulanmıştır. Elde edilen verilere normallik varsayımı sağlanmadığından dolayı parametrik olmayan istatistiksel testler uygulanmış ve katılımcıların cinsiyetleri, eğitim durumları ve gelir seviyelerinin et tercihleri ve özelde kaz eti tercihi üzerinde anlamlı bir farklılık yaratıp yaratmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaz Eti, Tüketici Tercihi, Duyusal Analiz

Sensory Analysis with Goose Consumption Preferences and Substitute Products

Abstract

Goose breeding in the World and Turkey, remained behind the growth levels due to low relative to other poultry. However, the significant nutritional value of goose meat, the high protein level, low cholesterol content, the rich vitamin value of the liver and the fact that the goose feather are also highly valuable have also increased the importance of goose breeding in recent years. Although in many countries goose meat is consumed due to all these characteristics it is consumed as a part of the local culture in Turkey only in certain regions and across the country are not recognized enough. Goose is produced and consumed in the Eastern and Central Anatolia regions with its traditional and backyard cultivation. In recent years, it is expected to create an important market especially in the domestic and foreign markets due to demand in different regions. In this study it is aimed to conduct sensory analysis and consumption research related to goose meat consumption. The study was carried out with the participants of Traditional Goose Night Event organized in Adana, where participants from Kars, Ardahan and Iğdır provinces. The data obtained from the questionnaire forms, which were

* Bu çalışma III. International Applied Social Congress (4-6 April 2019)’de sunulmuş ve özeti basılmıştır.

** codolekoglu@atu.edu.tr tlf: (322) 455 0041 Fax: (322) 455 0042, ORCID: 0000-0003-4421-2956.

<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

conducted by face to face interview technique, consisted of 363 people selected with the sampling technique. The questionnaires are based on comparison of the appearance, odor, texture, taste and general acceptability criteria of red meat, chicken meat and turkey meat. In order to determine the preferences of the people from the sensory point of view and as a result of the preference of the products in the consumption according to the substitution products, it was applied to the participants after the goose meat catering. As the normality assumption was not obtained, non-parametric statistical tests were applied. It was determined that the participants' gender, educational status and income levels did not make a significant difference on meat preferences and in particular goose meat preference.

Keywords— Goose Meat, Consumer Preference, Sensory Analysis

1. GİRİŞ

Uluslararası terminolojide "Kanatlı Eti" kavramı içinde tavuk, kaz, hindi, ördek, bıldırcın gibi hayvanların etleri yer almaktadır (TAGEM, 2014). Kanatlı eti nispeten düşük üretim maliyetleri, kümes hayvanlarının hızlı büyüme oranları ve etinin yüksek besin değerine sahip olmasından dolayı birçok ülkede popülerliğini artırmıştır. Kanatlı eti, kalori değeri ve kolesterol seviyelerinin genellikle kırmızı etten düşük olması nedeniyle bir avantaja sahiptir. Aynı zamanda insan beslenmesinde önemli bir protein kaynağıdır. Ayrıca kümes hayvanlarının eti, kırmızı ete göre daha düşük yağ dokusu oranına sahiptir ve bu yüzden sindirimi kolaydır (Öz ve Celik, 2015). Kırmızı etin yağ asidi bileşiminin insan sağlığı açısından uygunluğu tartışmalıdır. İnsanların beslenmesinde tüketilen hayvansal gıdaların kalitesiyle sağlık arasında doğrudan bir ilişki vardır. Doymuş yağ asitleri, trans yağ asitleri ve kolesterol alımının azaltılıp, omega 3 yağ asitlerinin tüketiminin artırılması önerilmektedir. Aksi takdirde araştırmalar bu durumun kardiyovasküler hastalıklarla ilişkili olarak en önemli risk faktörü olduğunu göstermektedir (Geldenhuys ve ark., 2015).

Kazlar ilk evcil kümes hayvanlarıdır ve diğer kümes hayvanları içinde hastalıklara ve soğuk iklim koşullarına karşı daha dirençlidir, ancak ticari olarak yetiştirilen diğer kanatlılar kadar hızlı büyümezler (Öz ve Celik, 2015). Kaz etinin iyi bir protein kaynağı olması ve özellikle arginin gibi elzem aminoasitleri içermesi, yüksek oranda doymamış yağ asitlerine sahip olmasından dolayı insan beslenmesinde çok önemli bir yere sahiptir (Liu ve ark., 2011). Kaz eti, ördek eti gibi güvenilir bir ettir. Çünkü her ikisinde de kimyasal kalıntı riski düşüktür. Bu özelliklerinin yanı sıra zengin omega-3 ve demir kaynağı olması diğer et ürünleri arasında kaz etini öne çıkaran önemli özelliklerdir (<https://www.hss.gov.nt.ca>).

Gelişmekte olan birçok ülke, hızlı artan nüfusu beslemek için gerekli gıdalarda sürdürülebilir artışlar sağlamak açısından entegre üretim sistemlerinde hayvancılık önemlidir. Kazlar bu tür sistemlere iyi uyum sağlayan, özellikle nemli bölgelere iyi adapte olan bir özelliğe sahiptir. Doğal otlama ile yetiştirilebilir ve diğer kuş türlerine göre hastalıklara karşı daha dirençlidirler. Kaz, Mısır'da M.Ö. 3000'e dayanan uzun geçmişine, birçok kitaba, hikâyeye ilham vermesine rağmen tavuk ve ördek kadar tüketimde popüler olamamıştır. Kaz yetiştiriciliğinin, diğer kümes hayvanlarına nazaran üreme seviyelerinin düşük olması ya da sınırlı bir coğrafi dağılımları nedeniyle çok az ekonomik öneme sahip olması bunun nedeni olarak sayılmaktadır. Açık havada en az barınak ile kışlara dayanma yeteneklerinin yanı sıra sıcak iklimlere de uyumuna rağmen ticari kaz üretimi yalnızca Asya ve Avrupa'da az sayıda ülkede önemlidir.

Tüketicilerin sağlık kaygılarının artması, dengeli ve güvenilir beslenmeye olan ilgilerinin yaygınlaşması, gıdalarda kalite ve güvenilirlik arayışlarını da artırmıştır. Tüketicilerin gıdalarda kalite ve güvenilirlik algısını da ortaya koymak tüketiciler, karar alıcılar, araştırmacılar, işletmeler ve sivil toplum kuruluşları için önemlidir. Tüketicilerin kalite algısı; satın alma esnasında kalite, tüketim kalitesi ve inanılan kalite olmak üzere üç temel başlık altında incelenebilir. Satın alma işlemi esnasında kalite belirtileri; renk, yağsızlık, marbling gibi iç faktörler ile marka, etiket, satın alma yeri, fiyat ve ihraç edilen ülke gibi dış faktörleri de içermektedir. Tüketim esnasında gözlenen tüketicinin duyu kalite algısı açısından önemli olan özellikleri ise renk, yağsızlık, tekstür, kıkırdaksızlık, yumuşaklık, koku, aroma ve sululuktur. Satın alma ve tüketim esnasında gözlemlenemeyen fakat tüketiciyi ilgilendiren kalite özellikleri inanılan kalite olarak tanımlanmaktadır. Hormon, antibiyotik, yağ/kolestrol, salmonella ve diğer bakteriler, hayvanın beslendiği yem, marka, üreticinin ismi, organik üretim, tazelik gibi faktörler inanılan kalite kapsamına girmektedir (Becker, 2000).

Kanatlı etlerinde en önemli kalite özellikleri görünüş, tekstür, sululuk, lezzet ve fonksiyonelliktir. Bu kriterlerden görünüş ve tekstür ürünün ilk seçimlerinde ve son ürün değerlendirmede kritik bir değere sahiptir ve görünüşün en önemli unsuru kanatlı etinin rengidir (Becker, 2000).

Etin fiziksel ve kimyasal özellikleri etin duyu özelliklerini etkiler ve özellikle yağ asidi bileşiminin etin aroması üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu kabul edilmektedir. Buna ilaveten, demir gibi bazı minerallerin varlığı da et aromasını etkileyebilir. Örneğin, etteki yüksek demir içeriği, metalik bir tadın algılanmasına neden olabilir. Ayrıca etin duyu özellikleri üzerine fiziksel hareketlilik de önemli bir diğer etkidir. Aktif ve pasif durumdaki hayvanların kas yoğunluğundaki farklılık etin yumuşak ve sert olmasına neden olur (Geldenhuys ve ark., 2014). Tüketiciler bir kanatlı ürünü pişirip yerken tekstür ve lezzetini çoğu zaman kalitesine bağlar. Etin kimyasal bileşimi et kalitesini belirlemede ve protein, yağ, kül ve su önemli bileşenleri oluşturmaktadır (Sarica ve ark., 2014). Duyusal analiz her üründe sıklıkla yapılan bir teknik olmakla birlikte kaz eti ve ürünlerinde literatürde az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Soyar ve ark (1999) tavuk but ve göğüs etlerinin mikrodalga, elektrikli fırın ve haşlama yöntemleriyle pişirildikleri çalışmada yapılan duyu değerlendirme sonucunda, mikrodalga pişirmenin, but etlerinin renk ve genel beğeni yönlerinden elektrikli fırında pişirilenlerden daha az beğenildiğini, göğüs etlerinin ise renk, tat ve koku yönlerinden daha az beğenilmesine neden olduğunu saptamıştır. Güner ve ark. (2002) kaz salamının hindi ve tavuk salamları ile kıyaslanarak tüketime elverişliliğinin belirlenmesi ve kaz etinin et ürünleri teknolojilerine kazandırılmasının amaçlandığı çalışmalarında kaz etinden üretilen salam numunelerinin lezzet, tekstür ve görünüm özellikleri bakımından en düşük puanları aldığı belirlenirken, kaz etinin diğer kanatlı etleriyle kombinasyon halinde salam üretiminde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmışlardır. İstanbul piyasasında ambalajlı olarak satışa sunulan çeşitli firmalara ait 50 adet piliç but, 50 adet piliç kanat, 50 adet hindi kuşbaşı, 25 adet bıldırcın olmak üzere kanatlı eti örneklerinde yapılan duyu analizler sonucunda toplam 175 adet örneğin 89 adedinin (%50,8) koku, 88 adedinin (%50,2) görünüş bakımından olumsuz olduğu belirlenmiştir (Sezen, 2009).

Fernandez ve ark. (2010) kesim öncesi farklı bayıltma yöntemlerinin (elektrikle, kontrollü atmosfer ve mekanik bayıltma) kaz eti ve ördek etinin kalitesine etkisini araştırmış ve bayıltma tekniklerinin pişmiş ördek etinin lezzet, sululuk ve sertlik gibi temel duyu özelliklerini etkilemediğini belirlerken, kaz etinin duyu özelliklerinin hiçbirinde önemli bir farklılığa neden olmadığını bulmuşlardır. Mısır kazının devekuşu, pekin ördeği, beç tavuğu ve broyler tavuk ile karşılaştırılarak yapılan duyu değerlendirmesinde göğüs eti kullanılmış ve kasların fazla kullanılmasından dolayı etin yumuşaklığının az olduğu bulunmuştur. Ayrıca, kaz etinin koyu kırmızı renkli ve sert olmasından dolayı devekuşu etine benzediği ve beç tavuğu ve broyler tavuktan da farklı olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Geldenhuys et al., 2014).

Bu çalışma, son yıllarda Doğu ve Orta Anadolu bölgeleri başta olmak üzere Türkiye'de de gündemde hızla yer almaya başlayan kaz yetiştiriciliğine bağlı olarak kaz ürünlerinin tüketimini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla tüketicilerin tercihleri, yemek alışkanlıklarının belirlenmesi ve kaz eti deneyimlerinin duyu analizi yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın materyalini Kars, Ardahan ve Iğdır illerinden katılımcıların oluşturduğu, Adana'da organize edilen "Geleneksel Kaz Gecesi" etkinliğine katılanlar arasından kolayda örnekleme tekniği ile seçilen 363 kişiyle yüz yüze görüşme tekniği ile gerçekleştirilen anket formlarından elde edilen veriler oluşturmaktadır. Anketler katılımcıların sosyo demografik bilgilerinin yanı sıra yemek tercihleri, ev dışı gıda tüketimleri ve kaz eti ile diğer kanatlı etlerin ayırıcı özelliklerini belirlemek için duyu analiz sorularını içermiştir.

Çalışmada kullanılan duyu analiz testi; insan duyu organlarının bir enstrüman gibi kullanıldığı ve gıdanın şekil, renk, kıvam gibi görünüş özellikleri ile lezzet-aroma ve doku gibi duyu özelliklerini görme, koklama, tatma, dokunma veya işitme duyu organlarının tepkilerini ölçen, analiz eden ve açıklayan bir ölçektir.

Bu çalışmada, gıdaların beğenilip beğenilmemesi ve bundan dolayı çıkan sonuçların yorumlarının aşağıda ifade edilen durumlardan etkilenmediği göz önünde bulundurulmalı ve bu durumlara göre değerlendirilmelidir:

- Kişilerin o andaki açlık ve susuzluk gibi fizyolojik durumlarına,
- Kişilerin alışkanlıklarına,
- Gıdanın o bölgede bulunup bulunmamasına,
- Bölgenin iklimine ve mevsim değişikliklerine,
- Kişilerin ekonomik gelişmişliğine
- İçinde bulunulan sosyal ve kültürel gruplara
- Mikrobiyolojik güvenilirliğe
- Hazırlama ve servisteki kolaylığa
- Besleme değerine

2.1. Kaz Yetiştiriciliği ve Kaz Eti

Türkiye gerek coğrafi konumu gerekse de sahip olduğu ekolojik zenginlik açısından avantajlara sahip bir ülkedir. Boğazlarla iki kıtayı birbirine bağlayan bir köprü, dış politika ve uluslararası ilişkilerdeki iş birliği ile hava yolunda da açık hava trafiği nedeni ile dış ticarete önemli bir konuma sahiptir. Bu stratejik konum aynı zamanda sahip olunan ekolojik zenginlikle elde edilen ürünlerin dış ticaretinin artışı ile ülke ekonomisini güçlendirmek için kullanılmaktadır. Bu bağlamda tarım ve hayvancılık sektörünün ülke kalkınmasındaki katma değer katkısı ile rolü yüksektir. Bu özellikleri dikkate alındığında ürün çeşitlendirilmesinin yapılması ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini sağlayan ürünlerin üretilmesi de önem taşımaktadır. Türkiye hayvansal ürün üretimi açısından özellikle büyükbaş ve kümes hayvanları üretiminde maliyetlerin yüksekliği nedeni ile yeterli potansiyeli yakalayamamaktadır. Kaz yetiştiriciliği birçok iklime uyum sağlaması ve doğal kaynakları iyi değerlendirmesi açısından önemli avantajlara sahiptir. Ancak Türkiye'de kaz yetiştiriciliği belirli illerde sınırlı olarak yapılmaktadır. Özellikle tavuk ve hindi sayısı ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür (Tablo 1). Bu kaz ürünlerinin yurt içi perakende tüketiminin ve tercihinin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Oysa besin değerleri açısından ikame ürünlere göre yüksek avantaja sahiptir (Tablo 2).

Tablo 1. Türkiye'de bulunan kümes hayvanları (1000 adet)

Yıllar	Tavuk	Hindi	Kaz	Ördek ve Beç Tavuğu
2005	257.221	3.697	1.067	656
2006	286.121	3.227	830	525
2007	205.082	2.675	1.023	482
2008	180.916	3.230	1.063	470
2009	163.469	2.755	945	413
2010	163.985	2.942	716	397
2011	158.917	2.563	680	382
2012	169.034	2.761	676	357
2013	177.433	2.925	755	368
2014	199.976	2.990	912	400
2015	213.658	2.828	851	398
2016	220.322	3.183	933	414
2017	221.245	3.872	978	492
2018	229.507	4.043	1.080	533

Kaynak: TÜİK (www.tuik.gov.tr)

Tablo 2. Çeşitli etlerin yenebilen 100 gramının sağladığı enerji ve besin öğelerinin miktarları³

<i>Et Türü</i>	<i>Fiyat (1 kg)</i>	<i>Enerji (kal)</i>	<i>Protein (g)</i>	<i>Yağ (g)</i>	<i>Kalsiyum (mg)</i>	<i>Demir (mg)</i>
Sığır (orta yağlı)	50	240	18.7	18.2	8	2.6
Koyun (orta yağlı)	55	267	17.0	21.0	7	2.2
Tavuk	10	149	19.0	8.0	15	1.5
Tavşan	40	137	21.0	5.8	17	1.6
Keçi	55	157	18.4	9.2	1	2.2
Hindi	25	144	19.5	6.7	17	1.7
Kaz	70	161	22.8	7.1	13	2.6

Kaynak: Baysal, 2014. Beslenme. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, 566s. <https://www.fitekran.com/besin-degeri> (Hindi ve Kaz değerleri)

Türkiye kaz eti dış ticareti 2016 yılı haricinde sadece ithalat yönündedir (Tablo 3). 2016 yılında düşük miktarda gerçekleşen ihracat Macaristan, Bahreyn ve Birleşik Arap Emirlikleri'ne yapılmıştır. İthalat yalnızca kaz eti ve ürünlerinde önemli bir üretici olan Macaristan'dan yapılmaktadır. Macaristan Çin'den sonra en büyük kaz üreticisidir. Çin dünya kaz üretiminin %95,4'üne sahiptir. Bölgesel olarak da üretimde yine Asya ülkeleri Çin'in liderliği nedeni ile ilk sırada yer almaktadır (%94,6). Avrupa ülkelerinin üretimdeki payı %3,5'tur. Dünyada 204 farklı türde kaz olduğu bilinmektedir ve dünya genelinde yetiştiricilik de yapılabilmektedir. Ancak ekonomik açıdan sadece Asya ve Orta Avrupa'da önemli bir kümes hayvanı olarak yetiştirilmektedir. Dünya kaz eti üretimi 1961'de yalnızca 150 bin ton iken, 2000'de 1,9 milyon tona ve 2017'de de yaklaşık 2,5 milyon tona yükselmiştir (www.fao.org). Dünya kaz eti üretiminin %94'ü Çin'de tüketilmektedir. Bunu, Ukrayna, Mısır ve Macaristan takip etmektedir. (<http://www.poultryhub.org/species/commercial-poultry/goose/>).

Tablo 3. Türkiye kaz eti dış ticareti

Yıl	İhracat Miktar	İhracat Dolar	İthalat Miktar	İthalat Dolar
2012			700	26.036
2013			2.046	39.618
2014			6.833	116.200
2015			2.008	7.237
2016	76	676	500	1.776
2017			1.550	5.420
2018			200	6.688

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kaz etinin evlerde tüketimi sadece ürünün yetiştiriciliğinin yapıldığı bölge ve bu bölgelerle ilişkisi olan hanelerde yoğunur. Ancak, ev dışı gıda tüketiminin arttığı ve konsept yiyecek hizmetleri sunan restoranların artışı, tüketicilerin farklı ürün deneyimleme istekleri kaz eti ve kaz ürünlerinin hazır yiyecek sektöründe yer bulması kaçınılmaz olacaktır. Tablo 5'de ev dışı yemek tercihleri verilmiştir ve birden çok cevap alınmıştır. Ankete katılan tüketicilerin % 33,7'si haftada birkaç kez ev dışında yemek yemekte (Tablo 4) ve önemli bir kısmı da (%45,3) kaz etine ikame ürünler tüketmeyi tercih etmektedir. Bu cevaplarda en fazla Kaz eti ve ürünlerinin dünya mutfağında da önemli bir yeri olduğu dikkate alındığında bu oranın artması olasıdır.

Tablo 4. Ev dışında yemek yeme sıklığı

	<i>Frekans</i>	<i>Oran (%)</i>
Ayda bir kez	61	17,1
Haftada bir kez	85	23,9
Haftada birkaç kez	120	33,7
Günlük	31	8,7
Özel günlerde	44	12,4
Diğer	15	4,2
Toplam	356	100

³ Adana'da farklı perakendecilerden alınan fiyat ortalamalarıdır. Ancak kaz eti perakende satılmadığı için fiyatlarda Kars satışları baz alınmıştır

Tablo 5. Ev dışında yemek tercihi

	<i>Frekans</i>	<i>Oran (%)</i>
Ev yemeği	102	14,19
Fast-food	104	14,46
Kırmızı et	231	32,13
Deniz ürünü	90	12,52
Tavuk-hindi	95	13,21
Dünya mutfağı	23	3,20
Sokak yemeği	74	10,29
Toplam	719	

3.1. Duyusal Analiz

Anketler, katılımcılara fırında pişirme (180°C’de 25 dakika) yöntemi uygulanmış kaz eti ikramından sonra uygulanmıştır. Kaz etini görünüş, koku, doku, tat ve genel kabul edilebilirlik kriterlerine göre duysal açıdan değerlendirmişlerdir. Panelistler yaptıkları değerlendirmeyi çok iyi (9), iyi (7-8), orta (4-5-6) ve kötü (1-2-3) olarak puanlamışlardır. Tüm katılımcılara testin formatı ve skalanın nasıl değerlendirileceği hakkında duysal değerlendirme öncesi bilgi verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda kaz eti görünüş, koku, doku olarak orta düzeyde; tat açısından ise iyi, düzeyde değerlendirildiği belirlenmiştir. Genel kabul edilebilirlik olarak bakıldığında ise orta ve iyi düzey dikkat çekicidir (Tablo 6).

Tablo 6. Duyusal Analiz Değerlendirmesi (%)

<i>Duysal Kriterler</i>	<i>Kötü</i>	<i>Orta</i>	<i>İyi</i>	<i>Çok iyi</i>
<i>Görünüş</i>	12,3	41,8	30,1	15,8
<i>Koku</i>	16,6	45,4	23,7	14,2
<i>Doku</i>	16,6	41,7	28,2	13,5
<i>Tat</i>	15,7	28,9	33,7	21,7
<i>Genel Kabul</i>	12,3	39,5	32,9	15,3

Verilere, normallik varsayımı sağlanmadığından parametrik olmayan istatistiksel testler uygulanmış ve katılımcıların sosyo-demografik değişkenlerinin kaz eti tercihi üzerinde anlamlı bir farklılık yaratıp yaratmadığı Mann-Whitney U testi ile analiz edilmiştir. Sadece görünüş ve tat ($p = 0,04 \leq 0,05$) açısından cinsiyetler arasında anlamlı bir farklılık olduğu, ancak kadınların tüm duysal değerlendirme kriterlerinde daha olumlu cevap verdikleri belirlenmiştir. Genel kabul edilebilirlikte de cinsiyetler anlamlı farklılık göstermekte ve kadınlar kaz etini erkeklere göre daha olumlu değerlendirmektedir (Tablo 7).

Tablo 7. Duyusal değerlendirmenin cinsiyete göre farklılığının analizi

<i>Duyusal Değerlendirme</i>	<i>Cinsiyet</i>	<i>n</i>	<i>Ortalama Rank</i>	<i>Mann-Whitney U</i>	<i>p (Sig.)</i>
Görünüş	Kadın	114	172,42	11.979,5	0,498
	Erkek	220	164,95		
Koku	Kadın	334	185,79	9.791,0	0,004
	Erkek	111	154,41		
Doku	Kadın	106	181,36	9.131,0	0,004
	Erkek	214	150,17		
Tat	Kadın	109	165,90	11.456,0	0,689
	Erkek	216	161,54		
Genel Kabul	Kadın	96	173,89	7.259,0	0,000
	Erkek	201	137,11		

Çalışma durumu da tüketicilerin davranış ve algılarını etkileyebilecek diğer bir değişken olarak alınmıştır. Çalışma durumu ve tat arasında anlamlı ilişki bulunmazken ($p = 0,137 > 0,05$) diğer duyuşsal kriterler anlamlı çıkmıştır. Çalışanlar duyuşsal kriterleri daha olumlu değerlendirmişlerdir (Tablo 8). Çalışma hayatı günlük en az bir öğünün ev dışında yenmesine neden olabilmektedir. Ev dışı yemek deneyimi de farklı lezzetleri ve yemek çeşitlerini deneyimleme fırsatı yaratan bir durumdur. Tablo 8’de sonuçlara göre genel kabul edilebilirlik anlamlı farklılık göstermekte ve çalışanlar kaz etini daha olumlu değerlendirmektedir.

Tablo 8. Duyusal değerlendirme için çalışma durumuna göre farklılığının analizi

Duyusal Değerlendirme	Çalışma Durumu	n	Ortalama Rank	Mann-Whitney U	p (Sig.)
Görünüş	Çalışıyor	101	184,28	9768,5	0.020
	Çalışmıyor	230	157,97		
Koku	Çalışıyor	100	185,69	9081,0	0.004
	Çalışmıyor	226	153,68		
Doku	Çalışıyor	97	186,69	7984,0	0.000
	Çalışmıyor	220	146,79		
Tat	Çalışıyor	95	173,28	9663,0	0,137
	Çalışmıyor	227	156,57		
Genel Kabul	Çalışıyor	84	176,87	6353,0	0,000
	Çalışmıyor	210	135,75		

Öğrenim durumuna göre doku dışında duyuşsal değerlendirme kriterleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir. Duyusal değerlendirme kriterlerinden tat ve genel kabul edilebilirlikte lise mezunları, görünüş ve kokuda ise lisans/lisansüstü mezunları diğerlerine göre daha yüksek ortalama değerine ulaşmış ve istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Duyusal değerlendirme için öğrenim durumuna göre farklılığının analizi

Duyusal Değerlendirme	Öğrenim Durumu	n	Ortalama Rank	Ki-Kare	P (Sig.)
Görünüş	İlköğretim	196	159,99	8,375	0.015
	Lise	129	159,41		
	Lisans ve Lisansüstü	12	236,58		
Koku	İlköğretim	191	150,79	14,218	0.001
	Lise	129	184,37		
	Lisans ve Lisansüstü	12	224,42		
Doku	İlköğretim	183	152,70	3,893	0.143
	Lise	127	172,59		
	Lisans ve Lisansüstü	12	178,25		
Tat	İlköğretim	194	152,18	7,378	0.025
	Lise	120	181,51		
	Lisans ve Lisansüstü	12	166,42		
Genel Kabul	İlköğretim	178	138,12	9,537	0.008
	Lise	111	169,86		
	Lisans ve Lisansüstü	10	140,95		

Sadece kaz etine duyusal analiz yapılmış ancak tüketicilerin lezzet, yağlılık ve yumuşaklık açısından ikame ürün olarak alınan kırmızı et, hindi ve tavuk eti ile 5'li Likert ölçeğinde karşılaştırmaları da değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre kaz eti lezzet açısından hindi ve tavuk etine göre daha lezzetli, kırmızı ete göre ise daha az lezzetli olarak değerlendirilmiştir. Yağlılık değerlendirmesinde ise kırmızı ete göre daha yağsız, tavuk etine göre daha yağlı olarak belirtilmiştir. Yumuşaklık değerlendirmesinde ise kırmızı et ve hindi etine göre daha yumuşak ancak tavuk etine göre daha sert olduğu yönünde değerlendirilmiştir (Tablo 11). Bu sonuçların kaz eti tüketim sıklığı ile değerlendirilmesi anlamlı sonuçlar vermektedir. Çünkü katılımcıların %48,6'sı ilk defa kez eti tüketmektedir. Sıklıkla tüketenlerin sayısı oldukça düşüktür. (Tablo 10).

Tablo 10. Kaz etinin tüketim sıklığı

	<i>Frekans</i>	<i>Oran (%)</i>
Ayda bir kez	16	4,6
Haftada bir kez	6	1,7
Özel günlerde	158	45,1
İlk defa yiyorum	170	48,6
Toplam	350	100

Tablo 11. Kaz etinin ikame etlere göre lezzet, yağ ve yumuşaklık değerlendirilmesi (%)

Kaz eti,		Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
Lezzet	Tavuk etine göre daha lezzetlidir	17,7	11,9	19,8	20,6	29,9
	Kırmızı ete göre daha lezzetlidir	33,2	19,9	20,8	11,0	15,0
	Hindi etine göre daha lezzetlidir	15,0	12,0	24,9	18,9	29,1
Yağ	Tavuk etine göre daha yağlıdır	13,9	16,9	26,0	21,9	21,3
	Kırmızı ete göre daha yağlıdır	18,3	21,6	29,4	16,2	14,4
	Hindi etine göre daha yağlıdır	10,7	17,7	30,8	24,1	16,8
Yumuşaklık	Tavuk etine göre daha yumuşaktır	18,3	20,1	27,3	20,1	14,1
	Kırmızı ete göre daha yumuşaktır	16,4	14,3	29,5	22,8	17,0
	Hindi etine göre daha yumuşaktır	13,8	14,1	29,3	20,1	22,8

4. SONUÇ

Türkiye, ekolojik uygunluğu, küçük işletmeler için fizibil olabilmesi, dış ticaret açısından AB ve Ortadoğu pazarı için uygun jeolojik özelliği ile kaz üretiminde ideal koşullara sahiptir. Diğer yandan tüketim kalıplarındaki değişimler, ev dışı tüketimin yaygınlaşması, sağlıklı gıda tüketim eğiliminin artması, artan nüfusunun hayvansal protein ihtiyacında alternatif olması, yeni ürün arayan tüketicilerin varlığı, yöresel lezzetlerin turizm aracı olarak kullanımının yaygınlaşması Türkiye'de kaz üretim ve tüketim potansiyelinin varlığını ve gelecek yıllarda da artarak devam edeceğini ortaya koymaktadır. İkame ürünlere göre sahip olduğu besin değerlerindeki avantaj, katılımcıların ikame ürünlere göre olumlu değerlendirmeleri dikkate alındığında kaz etinin pazarda yer bulacağı şüphesizdir. Duyusal analiz sonuçlarında kadınların erkeklere göre kabul edilebilirlik düzeyleri daha yüksek çıkmıştır. Kadınlar gıda satın alımında ve hazırlanmasında en büyük sorumluluğa sahip aile bireyidir. Bu özellik dikkate alındığında kaz ürünlerinin marketlerde yer alması kabul edilebilirliği, satın alınabilirliği açısından oldukça umut vericidir. İkame ürünlere göre fiyatının yüksekliği bir dezavantaj olarak görülebilir ancak, arzın artışı ile fiyatların da düşmesi olasıdır.

Bu bağlamda, ilgili bakanlıklarda karar alıcıların destekleme politikalarında kaz yetiştiriciliğine yer vermesi temel beklentidir. Ancak, bölgesel kalkınma ajanslarının ve KOSGEB'in destek programına alması sadece üreticilerin değil işletme ve perakendecilerin de desteklenmesini sağlayacaktır. Bu çalışmada fiyat karşılaştırması değerlendirme dışı bırakılmıştır. Kaz etinin ikame ürünlere göre pazar fiyatı açısından değerlendirilmesi, talep esnekliğinin ortaya konması üretimin artışı koşulunda perakende fiyatını hangi yönde etkileyeceğini belirlemek de karar alıcı ve işletmeler için önemli bir bulgu olacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından kabul edilen 18113008 nolu BAP projesi kapsamında desteklenmektedir.

Kaynaklar

- Becker, T. 2000. Consumer Perception of Fresh Meat Quality: A Framework for Analysis, *British Food Journal*, 102(2):158-176.
- Geldenhuys, G., Hoffman, L.C., Muller, M., 2014. Sensory profiling of Egyptian goose (*Alopochen aegyptiacus*) meat. *Food Research International*, 64: 25-33.
- Geldenhuys, G., Hoffman, L.C., Muller, N., 2015. The fatty acid, amino acid, and mineral composition of Egyptian goose meat as affected by season, gender, and portion. *Poultry Science* 94:1075-1087. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pev083>.
- Liu B.Y., Wang, Z.Y., Yang, H.M., Wang, J.M. Xu, D., Zhang, R., Wang, Q., 2011. Influence of rearing system on growth performance, carcass traits, and meat quality of Yangzhou. *Poultry Science*, 90(3): 653-659. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00591>
- Tarımsal Araştırmalardan Bakış, 2014, www.tarim.gov.tr/TAGEM.
- Oz, F., Celik, T., 2015. Proximate composition, color and nutritional profile of raw and cooked goose meat with different methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39: 2442-2454.
- Sarıca, M., Boz, M.A., Yamak, U.S., 2014. Yzgat ilinde halk elinde yetiştirilen beyaz ve alaca kazların et kalite özellikleri ve bazı kan parametreleri. *Anadolu Tarım Bilim. Derg.*, 29(2): 147-153. DOI: 10.7161/anajas.2014.29.2.147-153.
- Soyer, A., Kolsarıcı, N., Candoğan, K., 1999. Tavuk Etlerinin Bazı Kalite Özellikleri ve Besin Öğelerine Geleneksel ve Mikrodalga ile Pişirme Yöntemlerinin Etkisi. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23(2):289-296.
- Güner., A., Doğruer, Y., Uçar, G., Yörük, H.D., 2002. Salam Üretiminde Kaz Etinin Kullanılabilme İmkanları. *Turk J Vet Anim Sci.*, 26:1303-1308.
- Sezen, G., 2009. Piyasada Satışa Sunulan Taze Kanatlı Eti Preparatlarının Son Kullanma Tarihlerindeki Duyusal, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Kaliteleri. *Uludağ Univ. J. Fac. Vet. Med.*, 28(1): 19-24.
- Fernandez, X, Lahirigoyen, E., Auvergne, A., Molett, C., Bouillier-Oudot, M., 2010. The effects of stunning methods on product qualities in force fed ducks and geese. 1. Carcass downgrading and meat quality. *Animal*, 4:1, pp 128-138. doi:10.1017/S1751731109990851
- G. Geldenhuys, G., Hoffman, L.C., M. Muller, M., 2014. Sensory profiling of Egyptian goose (*Alopochen aegyptiacus*) meat. (<http://www.poultryhub.org/species/commercial-poultry/goose/>).
- <http://www.fao.org>
- <http://www.tuik.gov.tr>
- <https://www.hss.gov.nt.ca>



Nohut Üretiminde Enerji Kullanım Etkinliği ve Sera Gazı (GHG) Emisyonunun Belirlenmesi (Adana ili örneği)

Hasan Ali Karaağaç¹, Mehmet Fırat Baran^{2*}, Durdane Mart¹, Ali Bolat¹, Ömer Eren³

¹ Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4847-0426; 0000-0002-2944-1227; 0000-0002-1019-0069;)

² Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7657-1227)

³ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID:0000-0001-6283-4367)

(İlk Geliş Tarihi 6 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 11 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.523080)

ATIF/REFERENCE: Karaağaç, H.A, Baran M.F, Mart, D., Bolat, A., Eren, Ö. (2019). Nohut Üretiminde Enerji Kullanım Etkinliği ve Sera Gazı (GHG) Emisyonunun Belirlenmesi (Adana ili örneği). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 41-50.

Öz

Bu çalışmada, 2017 yılında Adana koşullarında yetiştirilen nohut üretiminin enerji bilançosunun oluşturulması ve sera gazı (GHG) emisyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan alet-makinelerin ekonomik ömürleri, iş başarısı, yakıt-yakıt tüketimleri, makine ağırlıkları ile gübre, tohum miktarları gibi temel veriler, mevcuttaki yapılan ölçümlerden, yapılan diğer çalışmalardan, çeşitli kaynak ve kataloglardan temin edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda nohut üretiminde enerji çıktı/girdi oranı 1.82, özgül enerji değeri 9.99 MJ kg⁻¹, enerji üretkenliği 0.10 kgMJ⁻¹, net enerji verimi 8319.86 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Nohut üretiminde toplam enerji girdileri içerisinde en yüksek kullanım oranı % 35.59 ile yakıt-yakıt enerjisinde olduğu bulunmuştur. Bunu sırasıyla % 24.63 ile gübre enerjisi, %23.49 ile tohum enerjisi, % 8.43 ile makine enerjisi, % 7.61 ile ilaç enerjisi ve % 0.24 ile insan enerjisi takip etmiştir. Nohut üretimi için toplam GHG emisyonu 1638.85 kgCO_{2-eq}ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Toplam GHG emisyonları içerisinde en yüksek pay tohuma (%60.52) aittir. Tohumu sırasıyla dizel yakıt tüketimi (%17.56), azotlu gübre kullanımı (%8.37), fosfatlı gübre kullanımı (%4.32), makine kullanımı (%3.69), fungusit kullanımı (%2.62), herbisit kullanımı (%2.47) ve insan işgücü (%0.46) takip etmiştir. Buna ilave olarak, nohut üretiminde GHG oranı 1.62 kgCO_{2-eq}kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adana, nohut, enerji etkinliği, sera gazı (GHG) emisyonu, GHG oranı

Determination of Energy Usage Efficiency and Greenhouse Gas (GHG) Emissions in Chickpea Production (The case of Adana Province)

Abstract

In this study, it has been aimed to form the energy balance and greenhouse gas (GHG) emissions in the production of chickpea (*Cicer arietinum L.*) in Adana Province. 2017. Main data used in this study, such as economical life, labor success, fuel-oil consumptions, machine weights of the tools and machines used in second crop chickpea and fertilizer, seed amounts have been obtained from the other studies, various sources and catalogues. As a result of the evaluations energy output/input rate was obtained as 1.82, the specific energy value was obtained 9.99, net energy production was obtained 8319.86 MJ/ha in groundnut. For the chickpea, fuel-oil energy was the highest energy with 35.59% in total energy budget followed, fertilizer energy, seed energy, machinery energy, chemicals energy and human labour energy inputs with 24.63%, 23.49%, 8.43%, 7.61% and 0.24% % respectively. Total GHG emission was calculated as 1638.85 kgCO_{2-eq}ha⁻¹ for chickpea production with the greatest portions for seed (60.52%). The seed followed up diesel fuel consumption (17.56%), nitrogen manure usage (8.37%), phosphate manure usage (4.32%), machine usage (3.69%), fungusit usage (2.62%), herbisit usage (2.47%) and human labour (0.46%) respectively. Additionally, GHG ratio value was calculated as 1.62 kgCO_{2-eq}kg⁻¹ in chickpea production.

Keywords: Adana, chickpea, energy efficiency, greenhouse gas (GHG) emissions, GHG ratio

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7657-1227, mf197272@gmail.com

1. Giriş

Ülkemizde yemeklik tane baklagiller arasında nohut, toplam ekim alanlarının % 52.5'ini ve toplam yemeklik tane baklagil üretiminin ise % 44'ünü oluşturmaktadır. Aynı zamanda nohut, ülkemizde hem ekim alanı hem de üretim miktarı açısından yemeklik baklagiller arasında ilk sırada yer almaktadır (Küçükbalbay ve Akbolat, 2015).

Baklagiller içerisinde önemli bir yeri olan nohut, ilk çağlardan beri kültürü yapılarak insanlar tarafından tüketilen ve insan beslenmesinde büyük önem taşıyan bir tarım ürünüdür (Güler, 2011; Kılıç, 1997).

Nohut, toprak isteği bakımından kanaatkâr oluşu dolayısıyla ve köklerinin havanın serbest azotunu tespit etmesi bakımından hububat-yemeklik münavebesinde önemi çok büyüktür. Nohut, danelerinde bulunan % 20-25 protein, % 40-60 karbonhidrat, % 4.5-5.5 yağ, fosfor ve kalsiyum sayesinde insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (Anonim, 2018a).

Bir baklagil bitkisi olması ve köklerindeki nodüllerde havanın serbest azotunu bağlayabilmesi nedeniyle iyi bir münavebe bitkisi olarak önemli olan nohut, kendisinden sonra ekilecek bitkiye azot ve organik maddece zengin bir toprak bırakmaktadır (Anonim, 2018b). Adana'da nohut, kışlık ve yazlık olmak üzere 2 dönemde ekilir. Rakımı 750 m yüksekliğinden daha az olan yerlerde kışlık ekimler, 750 m yüksekliğinden daha fazla olan yerlerde yazlık ekimler yapılır. Kışlık ekimler aralık ayı içinde, yazlık ekimler ise şubat, mart ayında yapılmaktadır. Adana'da üretimi yapılan nohudun ekim alanı, üretim miktarları ve verim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yıllar itibarı ile Adana ve Türkiye nohut üretim miktarları (TÜİK 2018)

Yıllar	Adana			Türkiye		
	Alan (da)	Üretim (Ton)	Verim (kg/da)	Alan (da)	Üretim (Ton)	Verim (kg/da)
2013	71.782	7.392	103	4.188.187	506.000	121
2014	65.585	6.876	105	3.881.693	450.000	116
2015	55.655	6.098	110	3.572.220	460.000	129
2016	50.755	5.800	114	3.516.872	455.000	129
2017	50.531	5.096	101	3.926.726	470.000	120

Tarımsal üretimle ilgili olarak yapılacak enerji analizleri tarımsal sistemlerin enerji tüketimi açısından tanımlanıp gruplandırılmasında önemli bir yaklaşımdır. Üretiminde verimi artırmak ve girdileri azaltmak için üretimde kullanılan girdi ve çıktılarının dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gereklidir (Sabah, 2010).

Bununla birlikte, daha yoğun enerji kullanımı, insan sağlığını etkileyen ve sera gazı (GHG) emisyonları gibi önemli çevre sorunlarını ortaya çıkarmaktadır, bu nedenle girdilerin verimli kullanımı, sürdürülebilir tarımsal üretim açısından önemli hale gelmektedir. Tarımsal üretimde sera gazı emisyonları makine kullanımı, dizel yakıt tüketimi, kimyasal gübre kullanımı ve elektrik tüketimi sebebiyle ortaya çıkmakta ve doğal olarak enerji girdisinin artmasıyla da sera gazı emisyonları da artmaktadır.

Enerji etkinliği değerini artırmak için ya verimin artırılması ya da girdilerin azaltılması gerekmektedir. Özellikle toplam enerji girdisi içerisinde büyük yer tutan yakıt, kimyasal gübreler, tarımsal ilaçlar, makine ve traktör girdilerinin azaltılması gerekmektedir. Verimin artırılması belirli sınırlar içerisinde sağlanabilir. Fakat enerji kullanım etkinlik değeri girdilerin bilinçli bir şekilde yapılmasıyla (ilaçlama, mekanizasyon ve gübreleme) azaltılabilir (Çelen, 2016).

Enerji kullanım etkinliğini belirlemek amacıyla yapılan bazı çalışmalarda; nohut, (Yaldız v.dğr., 1990; Marakoğlu v.dğr., 2010), mısır (Kökten v.dğr., 2018), mısır (Öztürk ve Küçükerdem, 2016), lavanta (Gökdoğan, 2016), arpa (Baran ve Gökdoğan, 2014), ikinci ürün silajlık mısır (Baran v.dğr., 2016), şekerpancarı (Baran ve Gökdoğan, 2016), ikinci ürün ayçiçeği (Bayhan, 2016), buğday ve ayçiçeği (Unakıtan ve Aydın, 2016), buğday (Demir, 2018), mısır (Abbas v.dğr., 2018) ürünlerin üretiminde enerji kullanım etkinlikleri belirlenmiştir. Bunun yanında GHG emisyonlarını belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda da; arpa (Mohammadi v.dğr., 2014; Eren v.dğr., 2019), nohut (Elhami v.dğr., 2016; Eren v.dğr., 2019), silajlık mısır (Mohammadi v.dğr., 2014; Eren v.dğr., 2019), pamuk (Pishgar-Komleh v.dğr., 2012; Eren v.dğr., 2019), pirinç (Wang v.dğr., 2010; Eren v.dğr., 2019); şeker pancarı (Yousefi v.dğr., 2014; Eren v.dğr., 2019), ayçiçeği (Spugnoli v.dğr., 2012; Eren v.dğr., 2019) buğday (Mohammadi v.dğr., 2014) ürünlerinin üretiminde GHG emisyonlarını belirlemişlerdir. Bu çalışmada Adana'da 2017 yılının nohut üretiminin enerji kullanım etkinliği ve GHG emisyonu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Akdeniz iklimi görülen Adana ilinde uzun yıllar yıllık yağış miktarı ortalama 644.6 mm, ortalama sıcaklık ise yaklaşık 19.1 °C civarındadır (MGM, 2018). Çalışmada nohut üretiminde kullanılan çeşitli girdi miktarları ve elde edilen çıktı miktarları değerleri değişik kaynaklardan (Türkiye İstatistik Kurumu, daha önce konuyla ilgili veya benzer çalışmalardan), tarım alet ve makinaların teknik verileri ise bölgedeki uygulamalardan ve kataloglardan alınmıştır. Adana’da nohut üretimi için yapılan kültürel uygulamalar ve bakım işlemleri Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Nohut Üretimi İçin Kültürel Uygulamalar ve Bakım İşlemleri

Kültürel Uygulamalar	Uygulamanın Özelliği
Toprak işleme	Toprak, yaz veya sonbahar mevsiminde pulluk ile 20-25 cm derinlikte sürülür. Goble ile bir kez veya gerekirse 2 kez toprak tekrar işlenir, arkasından tapan ile toprak düzeltilir.
Ekim	Nohut ekiminde en uygunu mibzerle ekimdir. Mibzerle ekimde ekim normu, tane iriliğine göre değişmekle birlikte, dekara 10-13 kg tohum olabilmektedir (Mart, 2018). Pnömatik ekim makinası ile sıra arası 70 cm, sıra üzeri ortalama 5-8 cm, ekim derinliği ortalama 5 cm olacak şekilde ekim yapılır.
Gübreleme	Baklagillerde bitkinin ilk gelişme döneminde, köklerde nodoziteler oluşana kadar ekimle birlikte dekara 2-3 kg saf azot ve 5-6 kg P ₂ O ₅ önerilmektedir (Mart, 2018). Gübre, ekim öncesi toprak işleme sırasında gübre dağıtma makinası ile veya ekimle beraber toprağa verilir
Ara çapa	Nohut yetiştirilmesi süresince toplam 1 defa traktör ara çapa ile çapalanabilir.
Yabancı Ot Mücadelesi	Genellikle ekim sonrası çıkış öncesi veya çıkış sonrası olmak üzere 1 uygulama şeklinde olmaktadır.
Zirai Mücadele	Nohut üretiminde çiçeklenme öncesi ve çiçeklenme sonrası olmak üzere 2 kez fungusit uygulaması yapılmaktadır.
Hasat	Nohutta yaprak, dal ve baklalar kahverengine döndüğünde ve dane nemi % 11’in altına düştüğünde biçerdöverle hasat edilmektedir.

2.2 Çalışmada Kullanılan Girdiler

Ekim normu sıra üstü arasına ve tohum büyüklüğüne bağlı olarak 10-13 kg da⁻¹ arasında değişmekte olup, bu çalışmada ekim normu 13 kg/da olarak, kullanılan gübre miktarı 6 kg da⁻¹ saf fosfor ve 3 kg da⁻¹ saf azot olarak alınmıştır (Mart, 2018). Yabancı ot mücadelesi için çıkış öncesi veya sonrası olmak üzere 1 herbisit uygulaması, çeşitli hastalık için 2 defa fungusit uygulaması hesaplanmıştır. Adana’da nohut üretiminin enerji etkinliğinin hesaplanabilmesi için öncelikle enerji girdilerinin ve enerji çıktılarının hesaplanması gerekir.

Enerji girdileri insan gücü enerjisi, makine enerjisi, yakıt-yağ enerjisi, tohum enerjisi, su enerjisi, gübre enerjisi ve ilaç enerjisinden oluşmaktadır. Enerji girdisinin belirlenmesinde Farrel v.dğr (2006)’dan uyarlanan aşağıdaki eşitlikten faydalanılmıştır:

$$TEG = \sum_{i=1}^n R(i) \times E_{eş}(i) \quad (1)$$

Burada;

TEG : Tarımsal enerji girdisi (MJ ha⁻¹),

R(i) : i girdisinin uygulama miktarı (birim_{girdi} ha⁻¹),

E_{eş}(i) : i girdisinin enerji eşdeğeri (MJ birim_{girdi}⁻¹) dir.

Enerji çıktısı ise birim alandan elde edilen ürün ve yan üründen oluşmaktadır. Enerji çıktısının belirlenmesinde uyarlanan aşağıdaki eşitlikten faydalanılmıştır:

$$TEÇ = Y * LHV \quad (2)$$

Burada;

TEÇ : Tarımsal enerji çıktısı (MJ ha⁻¹),

Y : Verim (kg ha⁻¹)

LHV : Alt ısı değeri (MJ kg⁻¹)'dir.

Tarımsal girdilerin ve çıktılarının enerji eşdeğeri katsayıları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Tarımsal üretimde girdi ve çıktılarının enerji eşdeğerleri

Girdiler	Enerji Eşdeğeri Katsayısı (MJ birim ⁻¹)	Referanslar
<i>İnsan İşgücü (h)</i>	1.96	Davoodi ve Houshyar, 2009; Mousavi Avval v.dğr., 2011; Baran v.dğr., 2016
<i>Makine Üretim Enerjisi (kg)</i>		
Traktör	158.30	Barut v.dğr., 2011
Toprak İşleme Aletleri	121.30	Barut v.dğr., 2011
<i>Yakıt (L)</i>		
Dizel	35.69	Sabah, 2010; Arıkan, 2011; Eren, 2011
Yağ	6.51	Sabah, 2010; Arıkan, 2011; Eren, 2011
<i>Kimyasal Gübreler (kg)</i>		
Azot (N)	60.60	Öztürk, 2011; Barut v.dğr. 2011; Bayhan, 2016
Fosfor (P ₂ O ₅)	11.10	Öztürk, 2011; Barut v.dğr. 2011; Bayhan, 2016
<i>İlaç (kg)</i>		
Herbisit	269.00	Ferrago, 2003; Sabah, 2010; Arıkan, 2011; Eren, 2011
Fungusit	99.00	Strapatsa v.dğr., 2006
<i>Tohum (kg)</i>		
Nohut	18.224	Baran ve Gökdoğan, 2017
<i>Çıktı</i>		
Nohut	18.224	Baran ve Gökdoğan, 2017

Nohut üretiminde enerji kullanım etkinliğini belirleyebilmek amacıyla, Yılmaz v.dğr. (2010)'dan uyarlanan aşağıdaki 3, 4, 5 ve 6 numaralı formüller kullanılmıştır.

$$\text{Enerji oran} = \frac{TEÇ}{TEG} \quad (3)$$

$$\text{Özgül enerji (MJ kg}^{-1}\text{)} = \frac{TEG}{Y} \quad (4)$$

$$\text{Enerji üretkenliği (kg MJ}^{-1}\text{)} = \frac{Y}{TEG} \quad (5)$$

$$\text{Net enerji verimi (MJ ha}^{-1}\text{)} = TEÇ - TEG \quad (6)$$

GHG emisyonunun belirlenmesinde Hughes v.dğr. (2011)'den uyarlanmış olan aşağıdaki eşlikten faydalanılmıştır:

$$GHG_{ha} = \sum_{i=1}^n R(i) \times EF(i) \quad (7)$$

Burada;

GHG_h : Sera gazı emisyonu (kgCO₂-eş ha⁻¹),

R(i) : i girdisinin uygulama miktarı (birim_{girdi} ha⁻¹),

EF(i) : i girdisinin GHG emisyon eşdeğeri (kgCO_{2-eş} birim_{girdi}⁻¹) dir.

Tarımsal girdilerin GHG emisyon katsayıları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Tarımsal üretimde ki girdilerin GHG emisyon eşdeğerleri

Girdiler	Birim	GHG emisyon eşdeğerleri (kgCO _{2-eş} Birim ⁻¹)	Referanslar
İnsan İşgücü	h	0.700	Nguyen ve Hermansen, 2012
Makine	MJ	0.071	Pishgar-Komleh v.dğr., 2012
Dizel yakıt	L	2.760	Clark v.dğr., 2016
Azot (N)	kg	4.570	BioGrace-II, 2015
Fosfor (P ₂ O ₅)	kg	1.180	BioGrace-II, 2015
Herbisit	kg	23.100	Maraseni v.dğr., 2010
Fungusit	kg	14.300	Maraseni v.dğr., 2010
Tohum	kg	7.630	Clark v.dğr., 2016

GHG oranı, birim kg verim başına düşen GHG emisyon miktarı olarak tanımlanan bir indekstir. Houshyar v.dğr. (2015) ve Khoshnevisan v.dğr. (2014)’dan uyarlanmış olan aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$I_{GHG} = \frac{GHG_{ha}}{Y} \quad (8)$$

Burada; I_{GHG}: GHG oranı (kgCO_{2-eş} kg⁻¹) ve Y: Verim (kg ha⁻¹)’dir.

Ayrıca nohut üretimindeki enerji girdileri, doğrudan ve dolaylı enerji girdileri olarak iki grupta hesaplanmıştır. Nohut üretiminde tarım alet ve makinaları tarafından tüketilen yakıt ve yağ enerji değeri doğrudan enerji girdisi olarak kullanılan insan işgücü, tarım alet ve makinaları, gübre, ilaç ve tohumluk için tüketilen enerji değerleri dolaylı enerji girdisi olarak dikkate alınmıştır (Koçtürk ve Engindeniz, 2009). 2017 yılı için Adana’da nohut ekim alanı 50531 da, üretim miktarı 50096 ton ve verim ortalaması 101 kg da⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2018).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Enerji Kullanım Etkinliği

Adana’da nohut üretiminde enerji bilançosu Tablo 5’te ve nohut yetiştiriciliğinde enerji kullanım etkinliği değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 5’e baktığımızda birim alan başına 24.67 MJ ha⁻¹ insan enerjisi tüketilmiş, bu değer toplam enerji girdisine oranı % 0.24 ile en düşük girdiyi oluşturmuştur. Nohut üretiminde alet/makine enerjisinde 1 ha alan için 850.64 MJ enerji tüketilmiş, bu değer toplam enerji içerisinde % 8.43 oranına karşılık gelmektedir. Tüm girdiler içerisinde yağ-yakıt enerjisi 3590.20 MJ ha⁻¹ tüketilerek % 35.59 oranı ile en yüksek sırada bulunmuştur. Gübre enerji girdisi 2484.00 MJ ha⁻¹ ile % 24.63 oranına karşılık gelmiştir. Nohut üretiminde ilaç enerji girdisi ise 767.75 MJ ha⁻¹ ile % 7.61 oranına sahipken, tohum enerji girdisi 2369.12 MJ ha⁻¹ değeri ile % 23.49 oranına sahip olmuştur. Nohut üretiminde tarımsal enerji girdisi 10086.38 MJ ha⁻¹ ve tarımsal enerji çıktısı 18406.24 MJ ha⁻¹ olarak saptanmıştır.

Tablo 6’yı incelediğimizde Adana’da nohut üretiminde enerji oranı 1.82 olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada saptanan enerji oranı 1.82 iken, Yaldız v.dğr. (1993) nohut üretiminde enerji oranını 3.33, Marakoğlu v.dğr. (2010) nohut üretiminde enerji oranını 0.20, Baran ve Gökdoğan (2017) Adıyaman’da nohut üretimindeki enerji oranını 2.58, Mandal v.dğr. (2002) Hindistan’da yapmış oldukları çalışmada nohutun enerji oranını 2.04 olarak tespit etmişlerdir. Adana koşullarında nohut üretiminde enerji üretkenliği, sadece birim üretim alanından (ha) alınan tohum miktarı dikkate alındığında 0.10 kg MJ⁻¹ olarak belirlenmiştir. Adana koşullarında nohut üretiminde, 1 MJ enerji tüketimi karşılığında 0.10 kg nohut tohumu üretilmektedir. Üretim sonucunda kazanılan toplam enerji miktarı ile üretim işlemlerinde kullanılan toplam enerji miktarı arasındaki fark net enerji verimi (MJ ha⁻¹) olarak tanımlanır (Baran v.dğr. 2016). Adana koşullarında nohut üretiminde net enerji verimi, sadece birim üretim alanından (ha) alınan tohum miktarı dikkate alındığında 8319.86 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Nohut üretiminde bu değer; Baran ve Gökdoğan (2017) Adıyaman ilinde yapmış oldukları çalışmalarında 19301.83 MJ ha⁻¹, Mandal v.dğr. (2002) Hindistan’da yaptıkları nohut üretiminde net enerji verimi değerini 33919 MJ ha⁻¹ olarak tespit etmişlerdir.

Tablo 5. Adana'da Nohut Üretiminde Enerji Bilançosu

Girdiler ve Çıktılar	Hektar Başına Miktar	Toplam Enerji Girdisi (MJ ha ⁻¹)	Toplam Enerji Girdisine Oranı (%)
İnsan İşgücü (h)	10.82	24.67	0.24
Toprak Hazırlama İşlemleri	4.95	11.28	
Ekim ve Diğer İşlemler	4.54	10.35	
Hasat	1.33	3.04	
Makine (h)	15.64	850.64	8.43
Traktör	7.24	179.39	
Toprak Hazırlama İşlemleri	4.95	87.87	
Ekim ve Diğer İşlemler	2.79	143.66	
Hasat	0.67	439.72	
Yakıt + Yağ (L)	104.26	3590.20	35.59
Toprak Hazırlama İşlemleri	64.79	2230.94	
Ekim ve Diğer İşlemler	23.80	819.51	
Hasat	15.68	539.74	
Kimyasal Gübreler (kg)	90.00	2484.00	24.63
Fosfor (P)	60.00	666.00	
Azot (N)	30.00	1818.00	
Kimyasallar (kg)	4.75	767.75	7.61
Herbisit	1.75	470.75	
Fungusit	3.00	297.00	
Tohum (kg)	130.00	2369.12	23.49
<u>Tarımsal Enerji Girdisi (MJ ha⁻¹)</u>		<u>10086.38</u>	<u>100.00</u>
Verim (kg)	1010.00	18406.24	
<u>Tarımsal Enerji Çıktısı (MJ ha⁻¹)</u>		<u>18406.24</u>	

Tablo 6. Nohut yetiştiriciliğinde enerji kullanım etkinliği değerleri

Enerji Kullanım Etkinliği	Birim	Değerler
Enerji Oranı	-	1.82
Özgül Enerji	MJ kg ⁻¹	9.99
Enerji Üretkenliği	kg MJ ⁻¹	0.10
Net Enerji Verimi	MJ ha ⁻¹	8319.86

Tablo 7. Nohut yetiştiriciliğinde doğrudan, dolaylı, yenilenebilir ve yenilenemez enerji girdileri

	Enerji girdisi (MJ ha ⁻¹)	Oran (%)
Doğrudan enerji ^a	3614.87	35.83
Dolaylı enerji ^b	6471.51	64.17
Toplam	10086.38	100.00
Yenilenebilir enerji ^c	2393.79	23.73
Yenilenemez enerji ^d	7692.59	76.27
Toplam	10086.38	100.00

^a İnsan işgücü enerjisi, yakıt-yağ enerjisi; ^b Tohum enerjisi, kimyasal gübre enerjisi, tarımsal ilaç enerjisi, makine enerjisi;

^c İnsan işgücü enerjisi, tohum enerjisi; ^d Yakıt-yağ enerjisi, tarımsal ilaç enerjisi, kimyasal gübre enerjisi, makine enerjisi

3.2 Sera Gazı (GHG) Emisyonu

Nohut üretiminin GHG emisyonlarının sonuçları, Tablo 8’de verilmiştir. Toplam GHG emisyonları 1638.85 kgCO_{2-eş} ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Toplam GHG emisyonları girdilerinin içerisinde en yüksek payı, % 60.52’lik bir pay ile tohum girdisi almıştır. Bunu sırasıyla dizel yakıt girdisi (% 17.56) ve kimyasal gübre girdileri (% 12.69) takip etmiştir. GHG oranı (kg verim başına) 1.62 kgCO_{2-eş} kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Benzer çalışmalarda, Eren v.dğr (2019) toplam GHG emisyonunu 2075 kgCO_{2-eş} ha⁻¹ ve GHG oranını 1.16 kgCO_{2-eş} kg⁻¹ olarak, Elhami v.dğr. (2016)’da toplam GHG emisyonunu 6884.14 kgCO_{2-eş} ha⁻¹ ve GHG oranını 3.03 kgCO_{2-eş} kg⁻¹ hesaplamışlardır.

Table 8. Nohut üretiminde toplam GHG emisyonları

Girdiler	Birim	Hektar başına miktar (birim ha ⁻¹)	GHG Emisyonları (kg CO _{2-eş} ha ⁻¹)	Pay (%)
İnsan İşgücü	h	10.82	7.57	0.46
Makine	MJ	850.64	60.40	3.69
Dizel Yakıt	l	104.26	287.76	17.56
Azot (N)	kg	30.00	137.10	8.37
Fosfor (P ₂ O ₅)	kg	60.00	70.80	4.32
Herbisit	kg	1.75	40.43	2.47
Fungusit	kg	3.00	42.90	2.62
Tohum	kg	130.00	991.90	60.52
TOPLAM	-	-	1638.85	100.00
GHG Oranı (kg başına)	-	-	1.62	-

4. Sonuç

Bu araştırmada, Adana ilinde 2017 yılı üretim sezonunda nohut üretiminde enerji kullanım etkinliği ve GHG emisyonu yapılmıştır. Nohut üretimi yapan işletmelerde enerji oranı 1.82 olarak bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda, üretim girdileri içerisinde en yüksek payı yakıt-yağ enerjisinin aldığı, bunu sırasıyla gübre, tohum, makine, ilaç ve insan iş gücü enerjilerinin izlediği görülmektedir. Toplam GHG emisyonu 1638.85 kgCO_{2-eş} ha⁻¹ ve GHG oranında 1.62 kgCO_{2-eş} kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yakıt-yağ girdisinde en fazla enerji tüketimi toprak işlemede görülmektedir. Ayrıca enerji tüketiminde ikinci en yüksek sırayı gübre enerjisinin aldığı görülmektedir. Bu nedenle nohut üretiminde yakıt-yağ girdisini ve gübre enerjisini azaltmak için farklı ve alternatif toprak işleme yöntemleri ile gübreleme yöntemlerinin araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Abbas,A., Yang, M, Yousaf,K., Khan, K.A, Iqbal T., Hassan S.G, , 2018. Comparative Analysis of Energy Use Efficiency in Food Grain Production Systems of Pakistan, *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(2):1053-1059
- Anonim,2018a. <http://www.gencziraat.com/Tarla-Bitkileri/Nohut-Yetistiriciligi.html>. Adresinden alındı, Erişim Tarihi: 02.10.2018
- Anonim, 2018b. <http://hayrabolutb.org.tr/media/ziraat/Nohut-ve-Tarimi.pdf>. Adresinden alındı, Erişim Tarihi: 13.11.2018
- Arıkan, M., 2011. Adana İlinde Kolza Üretiminde Enerji Kullanımı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım makineleri Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Baran, M.F., R.Polat and O.Gökdoğan, 2016. Comparison of Energy Use Efficiency of Different Tillage Methods on The Secondary Crop Sunflower Production. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(11):4937-4943
- Baran, M.F., Gökdoğan, O, 2016, Determination Of Energy Balance of Sugar Beet Production in Turkey: A Case Study For Kırklareli Province, *Springer Energy Efficiency* (2015) 9: (2) 487-494, ISSN: 1570-6478; DOI 10.1007/s12053-015-9375-x
- Baran, M. F, Gökdoğan. 2017 Energy Balance in Production of Chickpea in Turkey: A Study Performed in Adıyaman Province, *Agronomy Research*, volume 15(1), 25-32, ISSN: 1406-894X
- Baran, M.F. and O.Gökdoğan, 2014. Energy Input-Output Analysis of Barley Production in Thrace Region Of Turkey. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 14(11):1255-1261
- Barut, Z.B., C., Ertekin, H.A., Karaağaç, 2011. Tillage Effects on Energy Use for Corn Silage in Mediterranean Coastal of Turkey. *Magazine of Energy*. Volume 36, Issue 9, s: 5466-5475
- Bayhan, Y., 2016. İkinci Ürün Ayçiçeği Üretiminde Farklı Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim Yöntemlerinin Enerji Kullanım Etkinliğinin Karşılaştırılması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2016: 13 (02) 102
- BioGrace-II, 2015. Harmonised Calculations of Biofuel Greenhouse Gas Emissions in Europe. BioGrace, Utrecht, The Netherlands. <http://www.biograce.net>.
- Clark, S., Khoshnevisan, B., Sefeedpari, P., 2016. Energy efficiency and greenhouse gas emissions during transition to organic and reduced-input practices: Student farm case study. *Ecological Engineering*, 88; 186-194.
- Çelen, İ.H. 2016, Tarımsal Uygulamalarda Enerji Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme, *Electronic Journal of Vocational Colleges- S:* 18-29 Aralık 2016
- Davoodi, M. J. Ş., Housyar, E. 2009. Energy Consumption of Canola and Sunflower Production In Iran. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 6(4): 381-384. ISSN 1818-6769, IDOSI Publications.
- Demir, O, 2018. A case Study of Energy Balance and Energy Economics Analysis of Irrigated Wheat Production in Turkey *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(5A):3759-3765
- Elhami, B., Akram, A., Khanali, M., 2016. Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic algorithm (MOGA) approaches. *Information Processing in Agriculture*, 3 (3); 190-205.
- Eren, Ö., 2011. Çukurova Bölgesinde Tatlı Sorgum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) Üretiminde Yaşam Döngüsü Enerji ve Çevresel Etki Analizi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı Doktora Tezi. Adana 2011.
- Eren, Ö., Gökdoğan, O., Baran, M.F., 2019. Determination of Greenhouse Gas Emissions (GHG) in the Production of Different Plants in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28 (2):
- Farrell, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O'hare, M., Kammen, D.M., 2006. Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. *Science*, 311:506–508.
- Ferrago, D. O., 2003. Energy Cost/Use in Pesticide Production. *Encyclopedia of Pest Management*.
- Gökdoğan,O, 2016, Determination of Input-Output Energy and Economic Analysis of Lavender Production in Turkey, *Int J Agric & Biol Eng*, *IJABE*, May, 2016 9(3): 154– 161

- Güler, İ., E., 2011. Erzurum Yöresinde Nohut Tarımının Mekanizasyon Sorunları ve Çözüm Önerileri İğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / *İğdir Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* 1(4): 91-98, 2011.
- Houshyar, E., Dalgaard, T., Tarazgar, M.H., Jorgensen, U., 2015. Energy input for tomato production what economy says, and what is good for the environment. *Journal of Cleaner Production*, 89; 99-109.
- Hughes, D.J., West, J.S., Atkins, S.D., Gladders, P., Jeger, M.J., Fitt, B.D., 2011. Effects of disease control by fungicides on greenhouse gas emissions by U.K. arable crop production. *Pest Manag Sci*, 67; 1082-1092.
- Khoshnevisan, B., Shariati, H. M., Rafiee, S., Mousazadeh, H., 2014. Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29; 316—324.
- Kılıç, T., 1997. Türkiye’de Yemelik Baklagil Üretim Tüketim Ticaret ve Dışsatım Pazarlama Yapısı. Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi ABD., Basılmamış Y. Lisans Tezi, Adana
- Koçtürk, O.M. and S.Engindeniz, 2009. Energy and Cost Analysis of Sultana Grape Growing: A case study of Manisa, west Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 4(10):938-943
- Kökten, K, Kaplan, M. Gökdoğan, Baran, M.F., 2018 Determination of Energy Use Efficiency of Maize (*Zea mays* *intendata*) production in Turkey, Feb - *Fresenius Environmental Bulletin*, ISSN 1018-4619, Volume 27-No:3/2018 , pages: 1973-1978
- Küçükbalbay, M., Akbolat, D., 2015. Nohut Yetiştiriciliğinde Farklı Toprak İşleme ve Ekim Yöntemlerinin İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 10 (2):1-10, 2015 ISSN 1304-9984, Araştırma Makalesi
- Mandal K G, Saha K P, Ghosh P K, Hati K M, Bandyopadhyay K K (2002) Bioenergy and Economic Analysis of Soybean Based Crop Production Systems in Central India. *Biomass and Bioenergy*, 23: 337-345
- Marakoğlu, T., O.Özbek and K. Çarman. 2010. Nohut Üretiminde Farklı Toprak İşleme Sistemlerinin Enerji Bilançosu. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 6(4):229-235
- Maraseni, T.N., Cockfield, G., Maroulis, J., Chen, G., 2010. An assessment of greenhouse gas emissions from the Australian vegetables industry. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 45:6, 578-588.
- Mart, D., 2018. Yemelik Tane Baklagillerin Önemi Ve Yetiştiriciliği. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Ve Politikalar Genel Müdürlüğü *Yemelik Tane Baklagiller Çalıştayı*. S:108-120. Adana
- MGM, 2018. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=Adana>, Adresinden alındı 11.07.2018
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S. H., Nonhebel, S., 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30; 724-733.
- Mousavi-Avval, S., H., Rafiee, S., Jafari, A., Mohammadi, A., 2011. Energy Flow Modeling and Sensitivity Analysis of Inputs For Canola Production In İran. *Journal of Cleaner Production*, 19(2011)-1464-1470, (www.elsevier.com/locate/biombio, USA).
- Nguyen, T.L.T., Hermansen, J.E., 2012. System expansion for handling co-products in LCA of sugar cane bio-energy systems: GHG consequences of using molasses for ethanol production. *Applied Energy*, 89; 254-261.
- Öztürk, H. H., 2011. Bitkisel Üretimde Enerji Yönetimi. *Hasad yayıncılık*. 2011.
- Öztürk H.H., Küçükerdem K. H., 2016. Ayçiçeği Üretiminde Enerji Kullanımı Imcofe’16: International Multidisciplinary Congree of Eurasia 823 -832
- Pishgar-Komleh, S.H., Sefeedpari, P., Ghahderijani, M., 2012. Exploring energy consumption and CO [sub 2] emission of cotton production in Iran. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 4: 033114-033115.
- Sabah, M., 2010. Söke Ovasında İkinci Ürün Yağlık Ayçiçeği Üretiminde Enerji Kullanımı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Adana.
- Spugnoli, P., Dainelli, R., D'Avino, L., Mazzoncini, M, Lazzer, L., 2012. Sustainability of sunflower cultivation for biodiesel production in Tuscany within the EU Renewable Energy Directive. *Biosystems Engineering*, 112 (1); 49-55.

Strapatsa AV, Nanos GD, Tsatsarelis CA (2006) Energy Flow for Integrated Apple production in Greece. *Agric Ecosyst Environ* 116:176–180

TÜİK, 2018. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> Adresinden alındı. Erişim Tarihi 22.11.2018

Unakıtan, G, Aydın, B. 2018, A Comparison Of Energy Use Efficiency And Economic Analysis of Wheat and Sunflower Production in Turkey: A case study in Thrace Region, *Energy* 149 (2018) 279e285

Wang, M.X., Xia, X.F., Zhang, Q.J., Liu, J.G., 2010. Life cycle assessment of a rice production system in Taihu Region, China. *Int. J. Sustainable Dev. World Ecol.* 17, 157–161.

Yaldız, O., Öztürk, H. H., Zeren, Y., Başçetinçelik, A., 1990. Türkiye Tarla Bitkileri Üretiminde Enerji Kullanımı. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 3 (1-2), 51-62. Antalya.

Yılmaz, İ, A. Özalp ve F. Aydoğmuş, 2010. Antalya İli Bodur Elma Üretiminde Enerji Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi: Elmalı İlçesi Örneği. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 23(2): 93-97

Yousefi, M., Khoramivafa, M., Mondani, F., 2014. Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. *Atmospheric Environment* 92 (2014) 501-505.



Türkçe Duygu Kütüphanesi Geliştirme: Sosyal Medya Verileriyle Duygu Analizi Çalışması

Semra Yıldırım¹, Yücel Batu Salman², Serkan Ayvaz^{2*}

¹ Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 7 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 17 Nisan 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.537085)

ATIF/REFERENCE: Yıldırım, S., Salman, Y. B. & Ayvaz, S. (2019). Türkçe Duygu Kütüphanesi Geliştirme: Sosyal Medya Verileriyle Duygu Analizi Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 51-60.

Öz

Bu çalışmanın amacı, Türkçe için kapsamlı yeni bir duygu kütüphanesi geliştirmektir. Bu yeni kütüphane ile Türkçe sosyal medya paylaşımlarında etkili duygu analizi çalışmalarının yapılmasına katkı sunmak hedeflenmektedir. Bu çalışmada, varolan diğer kütüphanelerden bazıları incelenmiş olup bunları genişleten kapsamlı bir kütüphane oluşturulmuştur. Daha önce yapılmış çalışmalara ek olarak kütüphaneye basit emoji karakterler ve puanlama altyapısı eklenmiştir. Geliştirilen Türkçe Duygu Kütüphanesi'nin verimliliğini ölçmek için Twitter'da belli etiketlerle oluşturulmuş paylaşımlar toplanmıştır ve bunların üzerinden duygu analizi çalışmaları yapılmıştır. Analiz çalışmaları, birbirinden bağımsız iki farklı konu başlığında gerçekleştirilmiştir. Bu analiz kapsamında yapılan çalışmalardan ilki hava değişikliklerinin kullanıcılar üzerindeki etkisini ölçmek adına yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında yaz aylarında ve kış aylarında toplanan veri kümeleri incelenmiştir. Türkçe paylaşım yapan kullanıcıların kış aylarında daha olumsuz paylaşımlar yaptıkları, bahar ve yaz aylarında ise kış aylarına oranla daha olumlu paylaşımlar yaptıkları gözlemlenmiştir. Diğer analiz çalışması ise Türk televizyonlarında belirli bir süre boyunca yayımlanan, günlerce popüler konu listesinin en üst sırasında yer alan Survivor adlı yarışma programı izleyicilerinin Türkçe paylaşımlarını konu almıştır. Analiz sonucunda kullanıcıların takip etmekte oldukları bu programla ilgili genelde olumsuz paylaşımlar yaptığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, paylaşımlarda bozuk Türkçe kullanım alışkanlıkları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Duygu Analizi, Sentimental Analiz, Türkçe Duygu Kütüphanesi, Sosyal Medya, Twitter

Developing Turkish Sentiment Lexicon: A Sentiment Analysis Study using Social Media Data

Abstract

The objective of this study was to develop a comprehensive Sentiment Analysis Lexicon for Turkish language. The aim of this new lexicon is to facilitate effective sentiment analysis on Turkish social media posts. Previously developed lexicons have been examined and a comprehensive lexicon extending previous work has been developed. As an extension to the earlier work, the lexicon consist simple emoji characters and scoring infrastructure. To evaluate the performance of the Turkish Sentiment Analysis Lexicon, the tweets with certain hashtags were collected and analyzed. Analysis studies were carried out on two different topics. The first of these studies was done to measure the effect of weather changes on users. The data collected during the summer and winter were examined. The users who share Turkish post negative tweets in winter and appeared to share more positive posts in spring and summer compared to winter. The other analysis was conducted on Survivor TV Show, which has been aired on Turkish TVs, and placed at the top of the Trend Topic list for days. We observed that the users share negative posts about this program. Additionally, the habit of improper use of Turkish language on social media was noted in their posts.

Keywords: Emotion Analysis, Sentimental Analysis, Sentimental Lexicon for Turkish, Social Media, Twitter

* Sorumlu Yazar: Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID:0000-0003-2016-4443, serkan.ayvaz@eng.bau.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda yaygın internet kullanımı ile devasa boyutlarda veriler oluşmaya başlamıştır. Bu toplanan büyük verilerin yönetilmesi, analiz edilmesi, metinlerin içeriklerinde duygu ve düşünce yoğunluklarının belirlenmesi ve duygu yüklerine göre gruplanması birçok bilimsel çalışmaların ana konusunu oluşturmaya başlamıştır. Yapılan bu çalışmalar ile birlikte duygu analizi bir bilimsel çalışma alanı olarak ortaya çıkmıştır (Liu, 2012; Pang, Lee, & others, 2008).

Duygu analizi büyük verinin analiz edilip, kullanılabilir verilerinin içinden anlamlı veriyi çıkartmak için oluşturulan yöntemlerdendir. “Duygu Analizi (Sentiment Analysis)” ya da “Düşünce Madenciliği (Opinion Mining)” gibi birçok isimlendirmeler kullanılmaktadır (Nasukawa & Yi, 2003).

İnternetin yaygın kullanılması nedeniyle artık geleneksel metotlar ile el yordamıyla yapılabilecek olan takipler söz konusu olmaktan çıkmıştır. Örneğin bir kurumla ilgili çıkan tüm haberleri takip etmek ya da bu iş için birkaç kişilik ekipler kurmak daha önce mümkün iken günümüzde bu söz konusu bile değildir. Her geçen gün yeni bloglar, haber siteleri ve paylaşım siteleri ortaya çıkarak bu dünyayı zenginleştirmektedir. Bu büyük verileri saklayabilmek ve ihtiyaç dahilinde kullanabilmek ve ayrıca sonuçlar çıkartarak yeni yollar bulmak günümüzün en popüler konularından biridir. Sınırsız bilgi, yorum akışının olduğu bir dünyada, verileri sınıflandırma işini otomasyona bırakmaktan başka bir yol bulunmamaktadır (Ayvaz & Shiha, 2018).

İnternetin yaygınlaşmış kullanılmaya başlanmasıyla beraber insanlar diğer insanlar, kurumlar, ürünler gibi birçok konu hakkındaki görüşlerini açık bir şekilde ifade etmeye başlamışlardır. Günümüzde bu veriler üzerinden birçok analiz çalışması yapılabilmektedir (Dokoohaki, Zikou, Gillblad, & Matskin, 2015; Pak & Paroubek, 2010; Tang & Liu, 2010). Duygu analiz modelleri Twitter üzerinde satış performans tahminleri, ürünleri kademelendirme, kamuoyu yoklamaları, oylama sonucu tahminleri, politik bakış açılarının keşfi, filmlerin gişe tahminleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Dokoohaki et al., 2015; Duncombe, 2011; Java, Song, Finin, & Tseng, 2007; Ozturk & Ayvaz, 2017).

Son yıllarda artan sosyal medya kullanımı nedeniyle sosyal medyada duygu analizleri çok önem kazanmıştır. İnsanların sosyal medya üzerinden paylaştıkları metinlerden kişiler hakkında olumlu, olumsuz gibi analizler yapmak mümkün olmaktadır. Günümüzde kullanılan sosyal medya uygulamaları arasından en fazla duygu yüklü kelime içeren platformlardan biri Twitter'dır (Aylin & Elif, 2017; Nasukawa & Yi, 2003; Shiha & Ayvaz, 2017; Tang & Liu, 2010). Twitter'da kullanıcılar dünyada daha önceden gerçekleşmiş ya da şu anda gerçekleşmekte olan herhangi bir konu hakkında anında paylaşım yapmaktadır. Bu paylaşımlar sayesinde kitleler olumlu ya da olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu etkilenmeleri ölçümlendirmek ve sonuçlar üretebilmek bu çalışmada için sürekli veri akışı olan Twitter platformu kullanılmıştır (Ayvaz & Shiha, 2018).

Bu araştırma kapsamında Twitter'da yer alan Türkçe veriler üzerinden duygu analizi çalışmaları yapılmıştır. Türkçe Twitter kullanıcılarının belli etiketlerle paylaştıkları veriler incelenmiştir. Etiketlerin belirlenebilmesi için Twitter'ın popüler konu listeleri ve çok takipçiye hitap eden kullanıcıların paylaşımları incelenmiş ve tüm bu çalışmaların ardından etiket seçimleri yapılmıştır. İncelenen bu veriler toplanarak veri tabanında saklanmıştır. Verilerde kullanıcı bilgisi, paylaşım metni, tarih, aldığı beğeni sayısı gibi detaylı bilgiler yer almaktadır. Bu bilgiler sayesinde farklı etiketlerle (hava durumu, yazgelsin, ilkbahar, sonbahar, kış, survivor) ve farklı başlıklarda analiz çalışmaları yapılmıştır. Tüm etiketler için tek bir duygu kütüphanesi kullanılmıştır.

2. Literatür Taraması

Günümüzde duygu analizi politik ve siyasi konular içinde kullanılmaya başlanmıştır (Dokoohaki et al., 2015). Vatandaşlar siyasi parti adaylarıyla ilgili olarak diğer insanların görüşlerini bilmek istemektedirler. Geçmişte bu gibi düşünce ihtiyaçları aile, arkadaş ve yakın çevreyle sınırlıydı. Fakat şimdilerde web üzerinden her türlü bilgi kolayca elde edilebilmektedir. Bu gibi amaçlarla tüketicilerin düşüncelerini öğrenmek için anketler, kamuoyu yoklamaları yapılmaktadır. Varolan bütün verileri bir araya getirip bu veriler üzerinden anlamlı sonuçları görüntüleyebilmek için duygu analizi çalışmaları yapılmaktadır (Parycek, 2012). Bunun en büyük örneklerinden Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya seçimleri gösterilmektedir (Java et al., 2007). Örneğin, 2008 yılında Barack Obama'nın kampanya ekibi tarafından Twitter, Facebook, MySpace gibi birçok sosyal medya platformundan veriler toplanmış ve bunlar üzerinden seçim sonuçları tahmin edebilmek için analiz çalışmaları yapılmıştır (Pak & Paroubek, 2010; Dokoohaki, Zikou, Gillblad, & Matskin, 2015; Tang & Liu, 2010). Obama ve ekibi bu başarılı sosyal medya analizi sayesinde 500 milyon dolar bağış elde etmiştir (Cihan, Mustafa, Evren, H. Kaan, & Duygu, n.d.; Vargas, 2008).

Son yıllarda, sosyal medya paylaşımlarının organizasyonları tekrar şekillendirdiğine, toplumsal düşünce ve duyguları sarstığına şahit olunmuştur (Akgul, 2011; Aylin & Elif, 2017). Örneğin, 17 Aralık 2010'da bazı Arap ülkelerinde sosyal medyanın katkılarıyla politik değişiklikler olduğu görülmüştür (Duncombe, 2011). Arap ülkelerindeki sosyal medya kullanımının artması isyanların büyümesine ve halkın örgütlenmesine katkı sağlamıştır. Bu nedenle sosyal medya devrimi olarak adlandırılmıştır. Bu durum sonucunda da artık sosyal medya üzerindeki bu fikirleri içeren paylaşımları toplama ve analiz etmenin önemi artmıştır.

Pang ve Lee, destekçi vektör makinası algoritmaları ile yıldız (*) ve sembollerle etiketlenmiş verilerde gruplama yapma problemini araştırmışlardır ve oluşturdukları çoklu sınıf destekçi vektör makinası regresyon algoritmaları ile yüzde 60 gibi bir başarı elde etmişlerdir (Pang & Lee, 2005). Daha sonra ise veriden öznel ifadeleri çıkartarak tekrardan hesaplamalar yapmış ve ortalama yüzde 85 olarak başarı oranlarını güncellemişlerdir. Turney (2002), web üzerinden topladığı 410 yorumu cümlelerin polaritesine PMI-IR algoritmasını kullanarak sınıflandırmıştır. Turney, bu araştırmasında 4 farklı konu üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışma sonucunda

yüzde 74 gibi bir başarı elde etmiştir (Turney, 2002). Arapça Sentimental Analiz (ASA) çalışmalarının popülerliği hızla artmaktadır. Bu nedenle de Duwairi çalışmasında diyalektik kelimeler kullanarak Arapça paylaşımlar üzerinden duygu analiz çalışmaları gerçekleştirmiştir. Makine öğrenmesi gruplama yöntemi ile analiz çalışmaları yapmıştır (Duwairi, 2015). Ayrıca Arapça için Doğal Dil İşleme (DDİ) ile de birçok çalışmalar yapılmıştır (Nassar & Khamayseh, 2015). Shankar Setty Facebook'da bulunan Haber Akışı (New Feed) üzerinde Gmail'in "Gelen Kutusu"nda kullanıldığı gibi gruplama önerisinde bulunmuştur. Önerdiği bu yapı haber akışından gönderilen fikirlerin önem durumlarına göre sınıflanması üzerinedir (Setty, Jadi, Shaikh, Mattikalli, & Mudenagudi, 2014). Wöllmer, Wenninger, Sun ve ekibi tarafından (2015) YouTube'da özellikle film incelemeleri içeren videolar üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışma videoda bulunan konuşmayı alıp bu konuşma üzerinden duygu analiz çalışmaları yapmayı hedeflemiştir (Wollmer et al., 2013).

2.1. Türkçe Tweetler Üzerinden Yapılan Duygu Analizi Çalışmaları

Türkçe Twitter paylaşımları üzerinden birçok deney ve araştırmalar yapılmıştır. Fakat bu çalışmalar esnasında birçok engelle karşılaşmıştır. Bu engeller genel olarak iki grup altında incelenebilir: (i) dil yapısı; (ii) kullanıcı alışkanlıklarıdır. Türkçe'nin diğer dillerden daha farklı yapıya sahip olması, daha esnek olması ve kullanıcıların yaygın olarak İngilizce klavye kullanma alışkanlıkları nedeniyle Türkçe duygu analiz yapma çalışmaları çok zaman almaktadır. Ayrıca kullanıcıların Twitter'da yer alan karakter kısıtlaması nedeniyle kelimelerin bazı harflerini eksik yazma alışkanlıkları bulunmaktadır. Bunlar gibi engellere rağmen Türkçe kelimeler üzerinden duygu analizi konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bu konuda firmalar uzmanlaşmak için bölümler kurmuştur. İnternette yer alan Türkçe verinin analiz edilmesi ve böylelikle yeni hizmetlerin ve iş dallarının oluşması araştırmacılar ve çeşitli sektörler için faydalar içermektedir.

Yapılan bu çalışmalarda birçok gruplama teknikleri, analiz seviyeleri ve teknolojiler kullanılmıştır. Çalışmalar farklı teknikler ve yöntemlerde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda çeşitli veri tabanları kullanılmıştır. Bazıları ilişkisel veri tabanları kullanmıştır bazıları ise ilişkisel olmayan veri tabanları kullanmıştır. Bu durum tamamen analiz edilmesi planlanan veri büyüklüğüne ve teknik ekibin bilgisine göre belirlenmektedir. Yapılan bazı çalışma örnekleri aşağıda yer almaktadır: Erkut Evirgen tez çalışmasında Türkçe tweetlerde duygu analizi konusunda araştırmalar yapmıştır. Tez çalışması kapsamında R programlama dilini kullanmıştır. Tweetlerde ki düzgün formatlı olmayan kelimeleri düzenleyip işlediğinden bahsetmiştir. Ayrıca yaygın makine öğrenme metotları olan destekli vektör makinası, rasgele orman karar ağaçları, artırılma algoritmaları (boosting), maksimum entropi, yapay sinir ağları karşılaştırmalarını yapmıştır (Evirgen, 2016). Dilek Kayahan, Aslı Sergen ve Banu Diri yaptıkları duygu analizi çalışmalarıyla Twitter üzerinden Türkiye'deki televizyon programlarının reytinglerinin tahminlemesini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma için kendi belirledikleri etiketler sınıflandırılmış ve sınıflandırmalar sonrasında da duygu kütüphanesinden kontroller yapılmıştır (Kayahan, Sergin, & Banu, n.d.). B. İbrahim Sevindi, Türkçe film yorumlarının duygu kutuplarını çeşitli yöntemler kullanılarak belirlemeye çalışmıştır. Makine öğrenmesi ve sözlük tabanlı yaklaşımlar kullanılarak karşılaştırmalar yapmıştır. Türkçe film yorumlarının duygu analizinde makine öğrenmesi yöntemleri başarılı sonuçlar üretmiştir (Sevindi, 2013). Sinem Demirci tarafından yapılan araştırmalar esnasında "finer-grained emotion analysis/parçalı duygu analizi" yönteminin özellikle Türkçe kaynaklı yapılan analiz çalışmalarının da etkili olduğu gözlemlenmiştir. Türkçe için hali hazırda bulunabilecek bir veri kümesi kullanılması, duygu analizi işleminde yetersiz kalmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla, kullanılan kelimeler duygulara göre sınıflandırılmış ve bu veri kümeleri yardımıyla tweet gönderen kişinin duygu analizi gerçekleştirilebilmiştir (Demirci, 2014). Eyüp S. Akgül, Caner Ertona ve Banu Diri taraflarınca yapılan araştırmalarda Twitter verileri kullanılmıştır. Bu veriler analiz edilip gruplanmıştır. Gruplamalar "olumlu", "olumsuz" ve "nötr" olarak yapılmıştır. Böylelikle bir duygu kütüphanesi kullanılmıştır. Bu makale kapsamında geliştirilen duygu kütüphanesini zenginleştirme aşamasında Sercan ve diğerleri tarafından oluşturulan kütüphaneden de yararlanılmıştır (Sercan, Caner, & Banu, 2017). Nazan Öztürk ve Serkan Ayvaz tarafından gerçekleştirilen sentimental analiz çalışmalarında Suriyeli mültecilerle ilgili olarak İngilizce ve Türkçe Twitter paylaşımları R programlama dili yardımıyla toplanmıştır. Toplanan verilerde yapılan analiz çalışmalarında Türkçe paylaşımlarda pozitif duygulara daha fazla yer verildiği gözlemlenmiştir. İngilizce paylaşımların ise genelde nötr ve olumsuz oldukları sonucuna varmışlardır. Bu araştırma kapsamında da bir duygu kütüphanesi kullanılmıştır (Ozturk & Ayvaz, 2017).

3. Veri ve Yöntem

Türkçe'nin esnek bir dil olması ve Twitter'da çok fazla kirli verilerin bulunması nedeniyle temiz veriler elde edebilmek için yaklaşık bir yıl boyunca farklı farklı etiketlerle paylaşımlar toplanmıştır. Toplanan kayıtlar üzerinden incelemeler yapıp kütüphanede zenginleştirme ve iyileştirmeler yapılmıştır. Bu incelemeler esnasında Türkçe paylaşımlar yapan kullanıcıların genelde İngilizce klavye kullanmalarından dolayı oluşan aksaklıklarla karşılaşmıştır. Bu durumları yönetebilmek adına algoritmalar üretilmiştir. Örneğin kelimelerin tamamı küçük harfe dönüştürülmüş ve ardından kütüphaneden kontrol edilmiştir. Boşluklar ve noktalama işaretleri gibi kontroller yapılmıştır. Bu düzenlemelerin ardından bazı kelimelerin büyük-küçük harfle yazımından oluşan hatalar giderilmiştir. Buna ek olarak paylaşım metnindeki kelimeler hem Türkçe alfabeyle hem de İngilizce alfabeyle çevrilmiştir. Bu dönüştürmelerin ardından duygu kütüphanesinden eşleşmeler kontrol edilmiştir. Sadece bir eşleme üzerinden puanlama yapılmıştır. Diğer bir ifadeyle, hem İngilizce metne hem Türkçe metne puanlama yapılmamıştır. Ayrıca, Türkçe'de yer alan ikilemelerden dolayı oluşan hesaplama hatalarını yönetebilmek için de ek algoritmalar geliştirilmiştir. Her bir kelime grubu sadece tekil puanlanacak şekilde düzenlemeler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonrasında yapılan deneylerden anlamlı birçok sonuç elde edildiği gözlemlenmiştir. Örneğin; kış aylarında kişilerin daha umutsuz ve karamsar oldukları sonucu elde edilmişken, beklenildiği gibi yaz aylarının gelmesiyle kişilerin daha umutlu ve baharı heyecanla karşılayan duygulara sahip oldukları paylaşımlarda görülmüştür.

3.1. Duygu Kütüphanesi

Duygu analizi bir cümlenin ya da bir metnin duygu içerip içermediğini ve bu duygunun durumunun saptanması süreci olarak da adlandırılır (Liu, 2010). Duygu barındıran metinler herhangi bir konu, şahıs, marka ya da siyasi görüş hakkında olabilir. Toplumsal ve sosyal araştırmalar kapsamında yapılan anketler ve incelemelere bakıldığında duygu analizinin sosyoloji bilim dalını da yakından ilgilendirdiği görülmektedir. Örneğin; toplumsal tepkilerin ya da ayaklanmaların yoğun olduğu dönemlerde genellikle ilgili konularda olumsuz bir dil kullanıldığı görülmektedir. Bu tepkiyi doğuran kişi, kurum ya da kuruluşlar hakkında birçok duygu barındıran metin sosyal medya üzerinden keşfedilebilir ve analiz edilebilir. Duygu barındıran kelimeler yönelimlerine uygun olarak sınıflandırılıp taşıdıkları duygu yoğunluklarına uygun olarak puanlandırılabilir. Örneğin; “güzel”, “harika”, “mükemmel” olumlu duygu içeren kelimeler olup “Kötü”, “zayıf”, “korkunç” ise olumsuz duygu içeren kelimeler olarak değerlendirilebilir. Bunun gibi kelimelerin ve ifadelerin liste olarak saklanması sonrasında duygu kütüphaneleri oluşturulur.

Geçen yıllar boyunca araştırmacılar duygu kütüphaneleri derlemek için birçok algoritmalar tasarlamışlardır (Claster, Dinh, & Cooper, 2010). Duygu kelimeleri iki türde olurlar: baz (base) kelimeler ve karşılaştırmalı (comparative) kelimeler. Örneğin: “iyi”, “kötü” baz kelimedir. Öte yandan “daha iyi”, “daha kötü” karşılaştırmalı kelimedir (Ganapathibhotla & Liu, n.d.). Bu araştırma kapsamında yeni bir duygu kütüphanesi oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında oluşturulan Türkçe duygu kütüphanesi ilgilene araştırmacılar için araştırma çalışmalarında kullanılabilir hale getirildi². Kütüphanenin zenginleştirme süreci ise aşağıdaki gibidir:

- i. Türk Dil Kurumu (TDK) sözlüğü: Kütüphanenin zenginleştirme çalışmalarında TDK sözlüğü üzerinden birçok kelime incelenmiş ve duygu analiz çalışmalarına katkı sağlayacağı öngörülenler ayıklanarak oluşturulan duygu kütüphanesine eklenmiştir.
- ii. Daha önceden oluşturulan kütüphaneler: Eyüp Akgül, Caner Ertona, Banu Diri (2010) tarafından geliştirilmiş kütüphaneden bazı kelimeler, oluşturulan duygu kütüphanesine eklenmiştir (Eyup Sercan et al., 2017).
- iii. Emoji Listesi: Saif Mohammad ve Peter Turney (2011) tarafından oluşturulan liste duygu kütüphanesine eklenmiştir (Turney & Mohammad, 2011). Emojiler listesinde düzenlemeler yapılmıştır. Daha detaylı belirtmek gerekirse, ilk olarak her bir emoji için olumlu, olumsuz veya nötr olarak gruplama yapılmıştır. Ardından emojilerde kelimelere benzer şekilde duygu değerleri verilerek puanlama yapılmıştır. Değerler -5 ile +5 arasındadır.
- iv. Toplanan Twitter verileri incelenerek kütüphanede bulunmayan duygu yüklü kelimeler tespit edilmiş ve duygu kütüphanesine eklenmiştir.
- v. Türkçe karakter kullanamamaktan kaynaklanan sorunları göz ardı etmemek için bazı yeni küçük algoritmalar yazılmıştır. Başka bir deyişle, kelimelerde yer alan Türkçe harflerin tamamı İngilizce harflerle değiştirilerek yeni bir kolona kaydedilmiştir. Her bir kelime için duygu kütüphanesinden kontrol yapılırken öncelikli olarak Kelimeler tablosunda kontrol yapılır. Eğer metin kolonunda kelime bulunamazsa eşleniği kolonundan kontrol yapılır. Kelimelerin eşleşmesi durumunda kelimeye ilgili puan verilir.

Ayrıca bazı özel kelime grupları için farklı puanlama algoritması geliştirilmiştir. Bu kelime gruplarında duygu yoğunluğu daha fazla olduğu için puanlama sistemi de farklı olarak oluşturulmuştur. Olumlu kelime grupları +6 ile +11 arasında değer verilmiştir. Olumsuz kelime gruplarına ise -6 ile -11 arasında değer verilmiştir. Örneğin: “burnu büyük” kelime grubu olumsuz olarak kategorize edilmiştir ve duygu yoğunluk puanı -8 olarak belirlenmiştir. Argo/kötü söz içeriklerine ise -11 puan verilmiştir. Bu puanlama skalasının seçiminde amaç argo kelimeler ve mükemmel olumluluğu ifade eden kelime gruplarının kullanılması durumunda genel duygu değerlerinin yansıtılmasında daha belirleyici bir etki oluşturulmasının sağlanmasıdır. Bu yaklaşımın daha gerçekçi sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. Objektif bir puan elde etmek için, sözlükteki terimler anadili Türkçe olan 2 farklı yüksek lisans öğrencisi tarafından elle puanlanmıştır. Çıkan sonuçlar araştırma ekibi tarafından kontrol amaçlı tekrar incelenmiştir. Aşağıdaki Tablo 1’de yer alan duygu kütüphanesi veri kümesi tablosunda bazı örnek kelimelerin olumlu (1), olumsuz (2) durumları, bu kelimelerin İngilizce alfabedeki karşılıkları ve kelimelerin duygu değerleri görüntülenmektedir.

² <https://github.com/sayvaz/turkish-lexicon/>

Tablo 1. Duygu Kütüphanesi Örnek küme

İzlenim	Metin	Değer	Eşlenik
2	minimum	-3	minimum
2	alkolik	-5	alkolik
2	az	-3	az
2	açgözlü	-5	acgozlu
2	cüzi	-2	cuzi
2	düztaban	-4	duztaban
2	haram	-5	haram
2	hödük	-5	hoduk
1	enerjik	5	enerjik
1	enfes	5	enfes
2	kahpe	-5	kahpe
2	serseri	-3	serseri
2	kokoş	-2	kokos
1	bedava	2	bedava
1	ağırbaşlı	1	agirbasli
2	burnu büyük	-8	burnu buyuk
2	bölük pörçük	-7	boluk porcuk
2	eli sopalı	-8	eli sopali
2	kuş beyinli	-8	kus beyinli
1	en güzel	11	en guzel

4. Analiz ve Bulgular

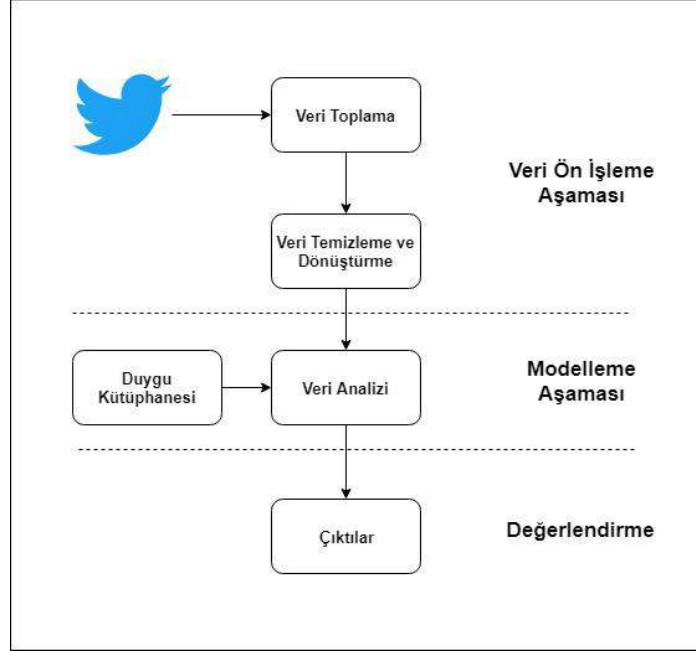
Bu araştırmada yapılan analiz çalışmalarında Twitter verileri incelenmiştir. Bu incelemelerde popüler konu listesi değerlendirilip bazı etiketler belirlenmiştir. Böylelikle kararlaştırılan etiketler kümeler halinde Twitter'dan oluşturulan veritabanına aktarılmıştır. Şekil 1'de duygu analizi algoritmasının çalışma prensibi ve işleyişi görselleştirilmiştir. Verileri çekme, ayıklama ve düzenleme işlemleri için C#.NET ve Python yazılım dilleri kullanılmıştır. Elle veri üzerinde gözlemler yapılmış ve bu incelemeler sayesinde duygu kütüphanesine eklemeler gerçekleştirilmiştir. Her yeni eklenen kelime için olumlu-olumsuz değerleri ve duygu yoğunlukları düzenlenmiştir. Duygu kütüphanesine ayrıca basit emojiler de eklenmiştir. Analiz aşamasında her bir paylaşım içinde yer alan kelimeler ayrıştırılarak duygu değeri saptanmıştır. Geliştirilen duygu kütüphanesinin verimli çalıştığını sınavabilmek için iki farklı analiz çalışmaları yapılmıştır. Ek olarak, veri sayısına göre analiz sonuçlarında farklılık olup olmadığına dair incelemeler yapılmıştır. Analiz çalışmalarında iki ayrı veri kümesi kullanılmış olup bu veri kümeleri hiçbir şekilde birleştirilmemiştir. Hava durumu için ayrı (hava durumu ve mevsimler), ve survivor televizyon programı için ayrı veri kümesi kullanılmıştır. Araştırma kapsamında, 2016 Eylül-2017 Kasım ayları arasında veri toplama işlemleri yapılmıştır.

4.1. Hava Değişikliği ve Mevsimlerin Kullanıcılar Üzerindeki Etkisinin Analizi

Hava durumunun mevsimsel olarak Twitter kullanıcıları üzerindeki etkilerini ölçmek için analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar yaklaşık 1 yıllık zaman dilimi içinde toplanan veriler üzerinde yapılmıştır. Yapılan analiz çalışmalarında kullanılan etiketler: “ilkbahar, yaz, sonbahar, kış, spring, summer, fall, winter” dir. Hava değişikliklerinin Türkçe tweet paylaşan Twitter kullanıcıları üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için toplamda 8788 adet paylaşım içeren veri kümesi üzerinden 4 mevsim için 4 deney yapılmıştır.

- “Yaz” ve “summer” etiketleriyle toplanan verilerde (2017 Ağustos – Eylül - Ekim) yapılan çalışmalarda kullanıcıların çok fazla resim paylaşması nedeniyle genel olarak nötr oldukları görülmektedir. Fakat olumsuz olma oranı olumlu oranına göre düşüktür.
- “Sonbahar” ve “fall” etiketleriyle toplanan verilerde (2017 Ağustos – Eylül - Ekim) yapılan çalışmalarda kullanıcıların olumlu duygu içeren paylaşımlar yaptıkları görülmektedir.
- “İlkbahar” ve “spring” etiketleriyle toplanan verilerde (2017 Temmuz-Ağustos-Eylül) yapılan çalışmalarda kullanıcıların daha çok olumlu ve nötr paylaşımlar yaptıkları görülmüştür.
- “Kış” ve “winter” etiketleriyle toplanan verilerde (2017 Eylül-Ekim-Kasım) yapılan çalışmalarda kullanıcıların daha çok nötr ve olumsuz paylaşımlar yaptıkları gözlemlenmiştir.

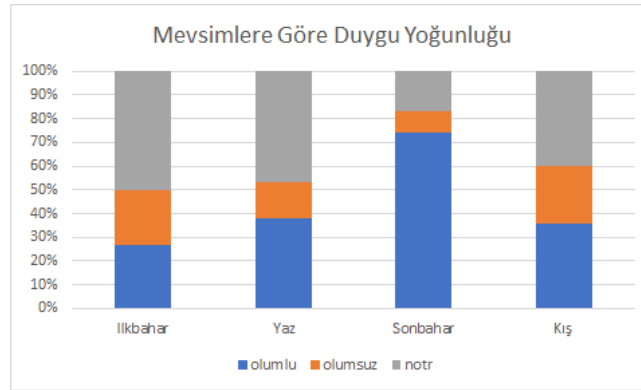
Bu dört deney sonrasında ise kullanıcıların genel olarak kış mevsiminde paylaşımlarının daha karamsar oldukları tespit edilmiştir. Fakat yaz aylarının gelmesiyle kullanıcıların paylaşımlarının daha olumlu olduğu Şekil 1’de gösterildiği gibi gözlemlenmiştir. Ayrıca sonbahar aylarında ise kullanıcıların halen olumlu olarak paylaşım yaptıkları tespit edilmiştir. Kullanıcılar yazın özlemlerini sıklıkla bahsetmektedir. Kullanıcılar bu özlemlerini belirtirken olumlu kelimeler seçmişlerdir. Bu nedenle toplanan verilerden olumlu ve nötr ağırlıklı bir duygu analizi sonucu çıkmıştır. Duygu analizi sonrasında karşılaşılan sonuçların beklenen değerlerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 1 Duygu Analizi Algoritma İşleyişi

4.2. Survivor İsimli TV Programı ile İlgili Paylaşım Yapan Kullanıcıların Duygu Analizi

Bu program Türk televizyonlarında yer alan dünyaca ünlü yarışma programıdır. Popüler konu listesinde günlerce ilk sırada yer almıştır. Bu nedenle “#survivor” etiketiyle yapılan Twitter paylaşımları arşivlenmiştir. Daha sonrasında ise veriler üzerinde elle kontroller yapılmıştır. Bozuk Türkçe kullanım alışkanlıklarına uygun örnek olması nedeniyle bu araştırma kapsamına alınmıştır. Duygu analiz çalışması sonrasında survivor yarışmasıyla ilgili Twitter üzerinde Türkçe yapılan paylaşımların %27’sinin olumlu, %34’ünün olumsuz olduğu görülmüştür. Ayrıca, geriye kalan %39’luk kısım içerisinde bulunan paylaşımlar büyük oranda bozuk Türkçe kullanımı ve görsel paylaşım içermeleri nedeniyle nötr olarak kaydedilmiştir.



Şekil 2. Mevsimlere Göre Duygu Yoğunluğu

Yapılan bu analiz bulguları Şekil 2’de yer almaktadır. Bu analiz için toplam 766 paylaşım incelenmiştir. Sonuç olarak Türkçe paylaşım yapan kullanıcıların Survivor gibi bir eğlence programı için bile genel olarak olumsuz duyguları daha çok ifade ettiği gözlemlenmiştir. Beklenen sonuç ise çok sayıda kişinin takip ettiği bir eğlence programının olumlu duygu değerine sahip sonuçlar üretmesiydi.



Şekil 3. #survivor Etiketine Göre Yapılan Duygu Yoğunluk Dağılımı

5. Değerlendirme

Bu çalışmada duygu kütüphanesi kullanılarak sözlüksel benzeşim gruplama yöntemleri aracılığıyla duygu analizi yapılmıştır. Duygu analizleri, kelime seviyesinde ve cümle seviyesinde yapılmıştır. Ayrıca, bu çalışma kapsamında yeni bir Türkçe duygu kütüphanesi oluşturulmuştur. Duygu kütüphanesi birçok kelime, kelime grubu ve basit emoji karakterlerinden oluşmaktadır. Bunun yanında, her kelimenin İngilizce klavye kullanılması durumunda oluşacak versiyonları da kütüphaneye eklenmiştir. Türkçe paylaşım yapan kullanıcıların İngilizce klavye kullanma alışkanlıklarına sahip oldukları gözlemlenmiştir. Bu nedenle, İngilizce klavye ile Türkçe kelimelerin yazım şekilleri düzenlenmiştir.

Ayrıca, paylaşımlar üzerinden yapılan genel puanlama esnasında argo ya da küfür içeren kelime kullanımları puanlama sisteminde yüksek negatif (-), mükemmel olumlu değerler içeren kelime kullanımı yüksek pozitif (+) etki yapacak şekilde ağırlıklandırılmıştır. Yapılan analizlerde kullanıcıların hem argo ve hem de olumlu kelimeleri bir arada kullanmasından kaynaklanan anlam karmaşası engellenmeye çalışılmıştır. Fakat bazı durumlarda bu durum engellenememiştir. Örneğin; bir Twitter kullanıcısı tarafından paylaşılan “Nisan’ın 8’i olmus, bahar gelmiş, sevgi, ask, kadeslik geleceğine yine terör geliyor. Bu dünyayı bu hale getirenler yok olsun.” paylaşımında yer alan duygu içeren birden fazla olumlu ve olumsuz kelime yer almaktadır. Bu kelimeler “ask”, “sevgi”, “terör”dür. Bu örnekte yer alan metin olumsuz anlam ifade etmektedir fakat analiz sonucunda olumlu olarak işaretlenmiştir. Bunun sebebi metnin içinde yer alan “aşk” ve “sevgi” kelimelerinin duygu yoğunluk değerlerinin toplamı “terör” kelimesinin duygu yoğunluk değerinden büyük olmasıdır. Bu gibi durumlar Türkçe’nin esnek kullanım yapısından kaynaklanmaktadır.

Esnek bir dil olan Türkçe’nin duygu analizi çalışmaları sırasında karşılaşılan sorunları yönetebilmek için birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu çalışmada genel olarak Türk kullanıcıların oluşturduğu paylaşım analiz çalışmaları esnasında karşılaşılan sorunlar aşağıdaki gibi listelenmektedir:

- Kullanıcıların büyük çoğunluğunun Türkçe klavye kullanmamalarından kaynaklanan birçok anlam bozukluğu ve eksikliğiyle karşılaşılmıştır. Kullanıcıların Türkçe metinler yazdıklarını düşünüp Türkçe olmayan kelimelerle paylaşım yapmaları nedeniyle birçok hibrit kelimelerin oluştuğu tespit edilmiştir. Bu sebeple iyileştirme yapma gereksinimi ortaya çıkmıştır.
- Yapılan araştırmalarda genelde negatif sonuçlar elde edilmiştir.
- Türk kullanıcıların az kelime kullanarak çok fazla konuyu ifade etme durumu ile karşılaşılmıştır.
- Türkçe’de yer alan ikilemelerden dolayı oluşan hesaplama işlemlerindeki hataları yönetebilmek içinde algoritmalar geliştirilmiştir.
- Twitter’da yer alan verilerin kirli olduğu ve Türkçe paylaşımlarda yüksek oranda küfür içerikli cümlelerin olduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca, toplanan verilerin birçoğu duygu içermemektedir ya da eksik harflerle paylaşıldığından analiz çalışmalarında anlamlı verinin toplam veriye oranı düşüktür. Bu nedenle veri toplama ve anlamlandırma aşamaları çok uzun zaman almıştır. Hali hazırda Türkçe için istikrarlı olarak DDİ veri tabanı olmaması nedeniyle Türkçe duygu kütüphanesi geliştirilmiştir.

Geliştirilen Türkçe duygu kütüphanesinin performansı analizler için toplanan paylaşımlar üzerinde incelenmiş olup gereksinim durumlarında kütüphaneye yeni eklemeler yapılmıştır. Kütüphanenin kalitesi ve performansını ölçmek amacıyla analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu analizlerden birincisi olarak hava durumu ve mevsimlerin geçişlerinin Twitter üzerinden Türkçe paylaşım yapan kullanıcıların paylaşımları üzerinden duygu analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Duygu kütüphanesini kullanarak elde ettiğimiz sonuçlar beklendiği üzere kış aylarında insanların hava ile ilgili daha olumsuz tepkiler verdiklerini ve daha karamsar olduklarını göstermiştir. Ayrıca mevsim geçişlerinde kullanıcıların duygularında olan değişiklikleri ölçebilmek için yine aynı duygu kütüphanesi üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Bu sayede sonbahar mevsiminde kullanıcıların diğer mevsimlere göre daha fazla duygu aktaran paylaşım yaptıkları görüntülenmiştir. Bu analiz hava durumunun kullanıcıları etkilediği tespit edilip beklentiyle örtüşmüştür. Yapılan incelemeler, geliştirilen Türkçe duygu kütüphanesinde belirtilen kelimelerin duygu değerlerinin gerçek metinlerdeki duygu ifadeleri ile örtüştüğü tespit edilmiştir.

Bu analizlerden ikincisi olarak ise televizyon reytinglerde üst sıralarda olan Survivor adlı program hakkında yapılan Twitter paylaşımları ile ilgili duygu analizi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmayla Twitter üzerinden Türkçe paylaşım yapan kişilerin genelde olumsuz yorum yapma ve bozuk Türkçe kullanımı alışkanlıklarını tespit etmek amaçlanmıştır. Analiz sonucunda “olumsuz” ve “nötr” olarak etiketlenen paylaşımların ağırlıklı oldukları bulunmuştur. Sonuçlarda en büyük ağırlığa sahip nötr kategorisindeki paylaşımlar incelendiğinde çok fazla sayıda görsel paylaşıldığı veya Türkçe karşılığı olmayan kelimeler kullanıldığı gözlemlenmiştir.

5.1. Kısıtlamalar ve Eksiklikler

Bu çalışma dâhilinde geliştirilen Türkçe duygu kütüphanesinin iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, bütün Türkçe kelimeleri içermediği bilinmelidir ve zenginleştirmelere açıktır. Kütüphanenin zenginleşmesi sonuçların daha iyi olmasını sağlayacaktır.

Günümüz teknolojisinde DDİ algoritmalarıyla oluşturulmuş istikrarlı bir Türkçe duygu kütüphanesinin bulunmaması nedeniyle DDİ çalışmaları çok kısıtlı kalmıştır. Gelecekte gerçekleştirilecek kapsamlı ve başarılı bir Türkçe DDİ kütüphanesi, şüphesiz Türkçe metinler üzerinde yapılan metin madenciliği ve duygu analizi çalışmalarına katkı sunacaktır.

6. Sonuç

Bu çalışmada Twitter üzerinden belli etiketler ile toplanan Türkçe veriler üzerinde duygu analizi çalışması yapılmıştır. Duygu analiz yöntemi olarak varlık-görüş seviyesi ve cümle seviyesi kullanılmıştır. Ayrıca duygu kütüphanesi geliştirilmiştir. Duygu kütüphanesine duygu yönelim gruplamaları ve duygu yoğunluğu parametreleri eklenmiştir. Böylelikle, cümle seviyesinde yapılan analiz çalışmalarında oluşan anlam kayıplarından çıkan hatalar en aza indirilmiştir. Ek olarak, duygu kütüphanesine eklenen emojiler de duygu analizini destekleyecek şekilde puanlandırılmıştır. Böylelikle emojilerin duygu etkileri de kelimeler gibi dikkate alınmıştır. Ayrıca Türkçe’de yer alan kelime grupları ve ikilemeler de kapsama dâhil edilmiştir ve duygu yoğunluk değeri olarak daha büyük puanlar verilerek etkime oranı artırılmıştır.

Türkçe paylaşımlarda yaşanan sorunları çözmek için kelimelerden Türkçe klavyede yer alan ve İngilizce klavyede yer almayan harflerin yerine neler kullanılabileceği belirlenerek bu kütüphane zenginleştirilmiştir. Bu sayede Twitter kullanıcılarının Türkçe metinleri İngilizce alfabeye yazmaları sonrasında oluşan paylaşımları da analiz edebilme kabiliyeti kazandırılmıştır. Ayrıca büyük, küçük harf karmaşasından oluşabilecek sorunlar içinde çözümler üretilmiştir.

Bu çalışmada iki deney yapılmıştır. Deneylerden ilkinde, kullanıcıların paylaşımlarının hava durumuna göre değişen duygularını ölçme amacıyla analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu araştırmalar kapsamında kış ve bahar-yaz için veriler toplanmıştır. Bu çalışmalar sonrasında paylaşımlardaki duygu düzeyinin hava durumuna göre değişiklik gösterdiği sonucu ortaya çıkmıştır. Kış aylarında olumsuz, yaz ise pozitif paylaşım oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Mevsimlerin değişmesiyle kullanıcıların duygularının da değiştiği görülmüştür. Bu nedenle en fazla verinin Sonbahar ayında paylaşıldığı görüntülenmiştir. İkinci deneyde ise Türkçe paylaşım yapan Twitter kullanıcılarının bozuk dil kullanma, genelde olumsuz durumları daha çok ifade etme alışkanlıklarını ölçmek adına Survivor etiketi ile yapılan paylaşımlar incelenmiştir. Survivor izleyen kitlenin genel olarak olumsuz içerikli paylaşımlar yaptığı sonucu çıkartılmıştır.

Kaynakça

Akgul, M. (2011, July 19). Internet Yasakları, Bilgi Toplumu ve Demokrasi.

Aylin, Y. A., & Elif, S. (2017). Social Media in Social Organization. *European Scientific Journal*.

Ayvaz, S., & Shiha, M. O. (2018). A Scalable Streaming Big Data Architecture for Real-Time Sentiment Analysis. In *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Cloud and Big Data Computing* (pp. 47–51). ACM.

Christine B., W., & Girish J., G. (2007). Social networks in political campaigns: Facebook and the 2006 midterm elections. *Annual Meeting of the American Political Science Association*.

Christine B., W., & Girish Jeff, G. (2008). *What is a Social Network Worth? Facebook and Vote Share in the 2008 Presidential Primaries*. Boston, MA: Department of International Studies and Government Bentley College.

Cihan, C., Mustafa, E., Evren, K., H. Kaan, T., & Duygu, A. (n.d.). Sosyal Medyanın Politik Katılım ve Hareketlerdeki Rolü. *Bilkent Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojisi ve Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara*.

Claster, W. B., Dinh, H., & Cooper, M. (2010). Na #x00EF;ve Bayes and unsupervised artificial neural nets for Cancun tourism social media data analysis. In *2010 Second World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC)* (pp. 158–163). <https://doi.org/10.1109/NABIC.2010.5716370>

- Demirci, S. (2014). *Emotion Analysis on Turkish Tweets*. Middle East Technical University.
- Dokoohaki, N., Zikou, F., Gillblad, D., & Matskin, M. (2015). Predicting Swedish Elections with Twitter: A Case for Stochastic Link Structure Analysis. In *Proceedings of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining 2015* (pp. 1269–1276). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2808797.2808915>
- Duncombe, C. (2011). The Twitter revolution? Social media, representation and crisis in Iran and Libya (pp. 1–12). Presented at the Australian Political Science Association Conference (APSA) 2011, Australian National University, School of Politics and International Relations. Retrieved from <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:269526>
- Duwairi, R. M. (2015). Sentiment analysis for dialectical Arabic. In *2015 6th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)* (pp. 166–170). <https://doi.org/10.1109/IACS.2015.7103221>
- Evirgen, E. (2016). *Türkçe Tweetlerin Duygu Analizi*. Bahcesehir Universitesi.
- Eyup Sercan, A., Caner, E., & Banu, D. (2017, September 26). Twitter verileri ile duygu analiz. Retrieved September 26, 2017, from <http://docplayer.biz.tr/28952591-Pamukkale-universitesi-muhendislik-bilimleri-dergisi-pamukkale-university-journal-of-engineering-sciences.html>
- Ganapathibhotla, M., & Liu, B. (n.d.). Mining Opinions in Comparative Sentences (pp. 241–248). Presented at the Proceedings of the 22nd International Conference on Computational Linguistics - Volume 1 (COLING '08), Vol. 1. Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, PA, USA: Department of Computer Science University of Illinois at Chicago.
- Java, A., Song, X., Finin, T., & Tseng, B. (2007). Why We Twitter: Understanding Microblogging Usage and Communities. In *Proceedings of the 9th WebKDD and 1st SNA-KDD 2007 Workshop on Web Mining and Social Network Analysis* (pp. 56–65). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1348549.1348556>
- Kayahan, D., Sergin, A., & Banu, D. (n.d.). *Twitter ile TV Program Reytinglerinin Belirlenmesi*. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Liu, B. (2010). Sentiment Analysis and Subjectivity. *Handbook of Natural Language Processing*, 2, 627–666.
- Liu, B. (2012). Sentiment analysis and opinion mining. *Synthesis Lectures on Human Language Technologies*, 5(1), 1–167.
- Nassar, I. N., & Khamayseh, F. T. (2015). Constructing activity diagrams from Arabic user requirements using Natural Language Processing tool. In *2015 6th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)* (pp. 50–54). <https://doi.org/10.1109/IACS.2015.7103200>
- Nasukawa, T., & Yi, J. (2003). Sentiment Analysis: Capturing Favorability Using Natural Language Processing. In *Proceedings of the 2Nd International Conference on Knowledge Capture* (pp. 70–77). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/945645.945658>
- Ozturk, N., & Ayvaz, S. (2017). Sentiment Analysis on Twitter: A Text Mining Approach to the Syrian Refugee Crisis. *Telematics and Informatics. Bahcesehir University*. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.10.006>
- Pak, A., & Paroubek, P. (2010). Twitter as a corpus for sentiment analysis and opinion mining. In *LREc* (Vol. 10, pp. 1320–1326).
- Pang, B., & Lee, L. (2005). Seeing stars: Exploiting class relationships for sentiment categorization with respect to rating scales (pp. 115–124). Presented at the Proceedings of the 43rd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics, Association for Computational Linguistics. Retrieved from <https://scholar.google.com/citations?user=qCdLtl0AAAAJ>
- Pang, B., Lee, L., & others. (2008). Opinion mining and sentiment analysis. *Foundations and Trends® in Information Retrieval*, 2(1–2), 1–135.
- Parycek, P. (2012). *CeDEM 12 Conference for E-Democracy and Open Government 3-4 May 2012 Danube-University Krems, Austria*. Edition-Donau-Univ. Krems.

- Setty, S., Jadi, R., Shaikh, S., Mattikalli, C., & Mudenagudi, U. (2014). Classification of facebook news feeds and sentiment analysis. In *2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)* (pp. 18–23). <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2014.6968447>
- Sevindi, B. I. (2013). *Türkçe metinlerde denetimli ve sözlük tabanlı duygu analizi yaklaşımlarının karşılaştırılması*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Retrieved from <http://acikarsiv.gazi.edu.tr/index.php?menu=2&secim=10&YayinBIK=9431>
- Shiha, M., & Ayvaz, S. (2017). The effects of emoji in sentiment analysis. *Int. J. Comput. Electr. Eng. (IJCEE.)*, 9(1), 360–369.
- Tang, L., & Liu, H. (2010). Toward Predicting Collective Behavior via Social Dimension Extraction. *IEEE Intelligent Systems*, 25(4), 19–25. <https://doi.org/10.1109/MIS.2010.36>
- Turney, P. D. (2002). Thumbs Up or Thumbs Down? Semantic Orientation Applied to Unsupervised Classification of Reviews. *arXiv:cs/0212032*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/cs/0212032>
- Turney, P. D., & Mohammad, S. (2011). *Crowdsourcing a Word–Emotion Association Lexicon*. Institute for Information Technology, National Research Council Canada. Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0R6.
- Vargas, J. (2008, November 20). Obama raised half a billion online. *Washington Post*. Retrieved from [fromvoices.washingtonpost.com/44/2008/11/obama-raised-half-a-billion-on.html](http://voices.washingtonpost.com/44/2008/11/obama-raised-half-a-billion-on.html)
- Wollmer, M., Weninger, F., Knaup, T., Schuller, B., Sun, C., Sagae, K., & Morency, L.-P. (2013). YouTube Movie Reviews: Sentiment Analysis in an Audio-Visual Context. *IEEE Intelligent Systems*, 28(3), 46–53.



Structural Analysis Example of Steel Construction Greenhouses

Burak Saltuk^{1*}

¹ Department of Biosystem Engineering, University of Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0001-8673-9372)

(İlk Geliş Tarihi 26 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 1 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.544986)

ATIF/REFERENCE: Saltuk, B. (2019) Structural Analysis Example Steel Construction Greenhouses *European Journal of Science and Technology*, (16), 61-68.

Abstract

The greenhouse is an agricultural structure which provides the necessary growth factors for plant production and enables the mechanization of the crops. Greenhouse cultivation is one of the most important income generating branches of agriculture. Nowadays, computer software's are used for anything as it is being used for planning greenhouses, more robust construction and economical results are obtained this way. Business owners, investing their money in greenhouses, are copying the structural features of existing greenhouses with all wrong calculated parameters and errors. Leaving their valuable cash and future of their investment in the hands of an iron-smith. As a result, the greenhouses which are built without static and strength calculations, more materials are used, or insecure constructions are being applied. When an economic loss occurs depending on structural damage, it will unavoidably lead to economic losses for farmers and implicitly for the country. This study, emphasizes the structural Analysis of a one-span glass covered gable-roofed greenhouse, having an area of 720 m² located in Antalya province. Structural analysis of the greenhouse was made with SAP2000 program. Mechanical properties of steel used in gable roofs, glass covered greenhouse's, theoretical load calculations are made depending on the TS 498 and TS EN 13031-1 Turkish standards. Variable loads on the greenhouse are calculated as distributed loads with classical methods by analyzing the gable-roofed glass-covered greenhouse according to load combinations (wind, plant, fixed) with SAP2000 program. Also, although there is not a big difference in terms of cost, greenhouse security is endangered as the required cross-section element is not used. With an optimized area of 720 m², the greenhouse saves 2.736 kg of building material. An average of 11.8% of the building materials can be saved in 1 decaire area. Considering the same load conditions; the use of SAP2000 analysis reduces the cost, and there is no change in strength.

Keywords: Greenhouse, Construction, SAP2000 (Structural Analysis Program), Analysis

Çelik Konstrüksiyonlu Seranın Yapısal Analiz Örneği

Öz

Sera, bitki üretimi için gerekli büyüme faktörlerini sağlayan ve bitki yetiştiriciliği için mekanizasyon imkanlarını kolaylaştıran tarımsal yapıdır. Sera tarımı, tarımın en önemli gelir getirici kollarından birisidir. Günümüzde, bilgisayar yazılımları seraları planlarken de kullanılmaktadır bu şekilde daha sağlam ve ekonomik bir yapı elde edilebilmektedir. İşletme sahipleri, seralara sermaye yatırımı yaparlarken, mevcut seraların yapısal özelliklerini tüm yanlış hesaplamalarla ve hatalarla birlikte kopyalayıp yeni projelere aktarmaktadırlar. Tüm yatırımlar ve yatırımların geleceği yanlış hesaplamalarla ve yapısal sorunlu projelerle tehlikeye atılmaktadır. Sonuç olarak, statik ve mukavemet hesaplamaları yapılmadan inşa edilen seralar, daha fazla malzeme kullanılması, yapısal hasarlar ve bunlara bağlı olarak meydana gelen ekonomik kayıplarla yüz yüzedir. Bu çalışma, Antalya ilinde bulunan 720 m² alana sahip tek açıklıklı cam kaplı üçgen çatılı bir seranın yapısal analizlerini içermektedir. Seranın yapısal analizi SAP2000 programı ile yapılmıştır. Sera yapımında kullanılan çeliğin mekanik özellikleri, TS 498 ve TS EN 13031-1 Türk standartlarına göre teorik yük hesapları ile yapılmıştır. Seradaki değişken yükler, SAP2000 programı ile yük kombinasyonlarına (rüzgâr, bitki, sabit) göre üçgen çatılı cam kaplı sera analizi edilerek, klasik yöntemlerle dağıtılmış yükler olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, maliyet açısından büyük bir fark olmamasına rağmen, gerekli enine kesit elemanı kullanılmadığından sera güvenliğinin tehlikeye girdiği tespit edilmiştir. 720 m²'lik alana sahip olan bu seranın, doğru analizler sonucu elde edilen proje ile inşa edilmesi halinde 2.736 kg yapı malzemesi tasarrufu sağlayacağı belirlenmiştir. 1 dekar alanda inşaat malzemelerinin ortalama %11,8'i tasarruf edilebilmektedir. Aynı yük koşulları göz önüne alındığında; aynı dayanım için SAP2000 analizinin kullanılması maliyeti düşürebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sera, Konstrüksiyon, SAP2000 (Yapısal Analiz Programı), Analiz

* Corresponding author: Department of Biosystem Engineering, University of Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0001-8673-9372) bsaltuk@siirt.edu.tr

1. Introduction

Greenhouses are cultivation structures that climate conditions are under control, and the production period could be prolonged whole seasons. Greenhouses are used to produce plants, seeds, seedlings, to protect plants by controlling factors such as temperature, light, and humidity without being totally or partially dependent on climate-related environmental conditions. It is a plant production structure made with different shapes (Öneş, 1986; Yağanoğlu and Örüng, 1997; Yüksel, 2000; Baytorun, 1995).

Greenhouse production in Turkey consists of mainly plastic covered structures. As of 2011, the total greenhouse area has reached 60000 hectares, 32000 hectares (ha) of which are defined as high tunnel systems. Modern greenhouse cultivation, which has been developing rapidly with the introduction of big investor groups in the sector, has shown a significant improvement in the last decade and has reached 1000 ha levels. Approximately 150-200 ha of land is added each year. Nowadays, 3% of the greenhouse areas are modern greenhouses. This rate is expected to reach 15% in the next ten years (Eker, 2012).

A wide variety of structural greenhouse selections are available, from simple plastic houses to very sophisticated glasshouses. To supply high-quality vegetables year-round in the greenhouse packages commonly used for that purpose are regarding the Mediterranean basin (Castilla and Hernandez, 2007).

The increase in crop production is possible with continuity. In the next century, the impact of greenhouse production will increase further, depending on the climatic changes and increasing food demand. However, if greenhouses are built in unsuitable climatic conditions, it will eventually lead to a loss instead of profit. In recent decades, with the proliferation of plastics all over the world greenhouses are spread all over the world. Site selection is a crucial factor for profitable and sustainable greenhouse cultivation (Zabeltitz, 2011).

Mediterranean region has considerable advantages to build greenhouses because the nighttime and daytime temperature differences are very low; the number of frosty days is minimal and snowy days are rare. This way greenhouse heating costs can be kept to a minimum during the winter season. However, farmers avoid some of the critical factors such as greenhouse constructions, lighting, ventilation and heating in the greenhouses to avoid initial investment costs. As a result, production decreases and sometimes due to weak construction materials, greenhouses may collapse (Saltuk, 2005).

While greenhouse production was made in 51 provinces in Turkey in 2011, it has reached 70 provinces in 2014. The increase rate in the last four years (72%) is above 15% which is the average annual growth rate (Doğaka, 2015).

No doubt operating costs come to the forefront of production. Especially in the plant growing season, more utilization of natural light and heat is essential to decrease the costs. For this, besides the greenhouse construction, the covering material, the position of the greenhouse (orientation), the climate characteristics of the region are also influential. Greenhouses should be built peculiar to climatic characteristics of zones they will be established. For example, in a region with a humid tropical climate, where protection from the rain is the greenhouse's primary purpose (prevalence of the umbrella effect), the type of construction preferred may be different from that desirable in a semi-desert or Mediterranean climate region (Montero et al. 2013).

Heating systems are applied in greenhouses built in recent years in Turkey. Heating in greenhouses increases product yield, quality, and quantity. Especially in greenhouses heated in the Mediterranean coastline, two-fold productivity can be increased. However, the need for heat energy increases in greenhouses where heat protection measures are not taken and an average of 100 kWh.m²day⁻¹ Heat energy is needed depending on the climate values of the region during the production period. Increased energy costs cause the producer to discuss the profitability of heating. For this reason, it has been determined that energy conservation in greenhouses, as well as heating in greenhouses, is essential in terms of profitability and energy efficiency (Baytorun and Gügercin, 2015).

In a study conducted by Boyacı et al., 2016, the greenhouse agricultural potential of Kırşehir province has been investigated considering the climatic data, geographical location and agricultural structure of the city for many years. When the long-term climate data of Kırşehir province between 1960 and 2015 are examined in terms of greenhouse agriculture, it has been determined that the temperature increases and the relative humidity tend to decrease. Accordingly, when the average annual temperature is low, the number of frost days is higher than the heating costs in Kırşehir province, it was revealed that the use of greenhouse cultivation was not considered to be economical in that time (Boyacı et al., 2016).

The greenhouse sites in Antalya province starts from central parts and longs to the coasts of the western side of the Mediterranean part. Tomato, pepper, and cucumber are mainly cultivated. Even though the ecological conditions of these areas are favorable, the quality of the product is often low because of the poor production techniques. Despite these, greenhouse investments are spreading. Antalya greenhouse production has shown much improvement in recent years (Anonymous, 2018).

Tekinel, and Baytorun, (1990), point out that greenhouses are costly agricultural structures. Modern day technology must be projected in greenhouses. In recent years there has been an absolute increase in Turkey's greenhouse area, but at the same time, many problems arise due to the wrong applications of modern technology, such as carrier construction, ventilation, heating, cooling, shading, irrigation, air conditioning and so on, many topics can be counted.

Mandalik, (2001), showed that changing conditions increased the need for greenhouse farming, but also emphasized the importance of the properties that carrier materials should have in greenhouse constructions. The increase in income from the greenhouses attracts more people and especially the farmers who carried out their agricultural activities in the form of family businesses. As a result, investments in greenhouses have begun to increase. At this point; for detached greenhouses, various profiles any greenhouse structure is constituted by determining appropriate structure system directed towards medium-sized foundations. Moreover, for each structure, the amount of steel equipment and structure is defined by graphics. By this way, a significant facility is

provided for designer and producer. Moreover, furthermore, the applicator can reach the preliminary data about the optimum investment cost of greenhouses.

For the analysis with software, considering the continuity of the upper and lower head during the application phase in the modeling, the bars were rigid bound. The load values found as a result of these calculations are combined, and the SAP2000 program has been used to affect the loads in combinations (Çağdaş, 2004).

Unfortunately, the construction materials selected for the construction of these greenhouses are not given enough care regarding types, sections, and properties, support, and installation. Even establishments that provide loans to greenhouses do not take any notice if these greenhouse projects are appropriately prepared or not; some of them can provide loans based on copy projects various means.

A rare tornado on Thursday left havoc in its wake across the Mediterranean city of Antalya, killing two people. Farmers were particularly affected by the weather event and sought to remove debris and collect unaffected crops, while experts warned of more storms in the area (Anonymous, 2019a).

High winds, heavy rainfall, and a whirlwind devastated agricultural land, greenhouses, villas, and cars close to the shore in Antalya's Kaş, Finike, Demre, and Kumluca districts. According to a local meteorology official, the estimated speed of the whirlwind reached 200 km per hour. (Anonymous, 2019b). It is handy to consider high wind speeds when planning greenhouses. However, if the wind speed is taken into consideration in the greenhouse, the construction cost of the greenhouses will be quite high, and the solar radiation is entering the greenhouse will be quite low. Therefore, the climate of the greenhouse should be considered for many years. This study proposes a solution, to construct proper greenhouses with efficient material durability with exact quantity. So, this way economic harms could be eliminated long before they occur.

2. Material and Method

2.1. Material

In this study, a sample glass-covered gable-roofed greenhouse project was developed for analysis and design, and it was analyzed and sized using SAP2000 structural analysis software, which is based on finite-element modeling method. Situ measurements have determined the structural elements of the selected greenhouse. Besides, the profiles, types and, sizes of the greenhouses, the conditions (structural features, material properties, roof system, cover material) and their qualifications for cultivation have been determined in the field works. The sample greenhouse structure was assumed to be in Antalya province, and snowfall and seismicity of the province were reflected in the design in the light of related regulations and standards. In the study, the opening of the single-lattice truss glass bead is 9.00 m, the scissor range, 5.00 m and the roof inclination angle; 26°. The length of greenhouse construction elements is the meter. Glass-covered gable-roofed greenhouse structural design is given in Table 1.

Table 1. Dimensions of the greenhouse used in the study.

Greenhouse Width	9.00 m	Roof Inclination Angle	26°
Greenhouse Length	80.00 m	Door Height	2.10 m
Greenhouse Area	720.00 m ²	Door Width	3.50 m
Ventilation Window Length	80.00 m	Height	4.60 m

The general principles are applied in the selection of the subdivisions, and greenhouses with different roof and construction characteristics are determined. According to the loads on the platform, the loads on the calculation and projecting of the sections of the tension and compression rods are considered SAP2000 Some of the section values of the elements used in the construction of the gable-roofed glass greenhouse are given in Figure 1. Greenhouse plan, depending on the data reached; With AutoCAD 2007 program, it was drawn 1/50 and transferred to SAP2000 program (Figure 2). Using the graphical user interface of the program, the construction properties (length, section) and loads (fixed, moving) are entered into the program, and the nodes and rod elements are numbered. (Figure 2).

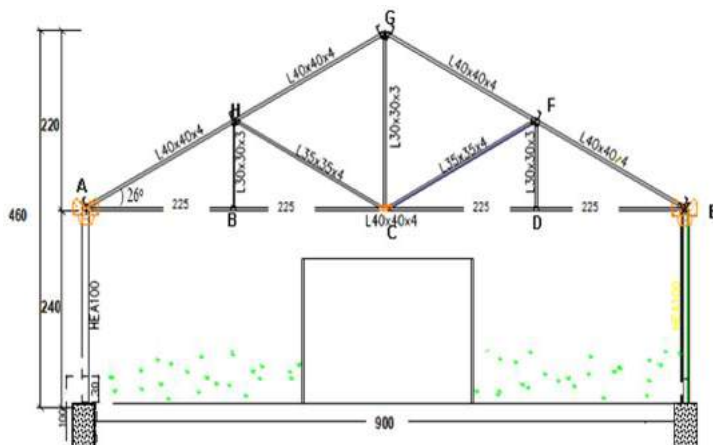


Figure 1. Glass Greenhouse Used in the Study (Section A-A)
e-ISSN: 2148-2683

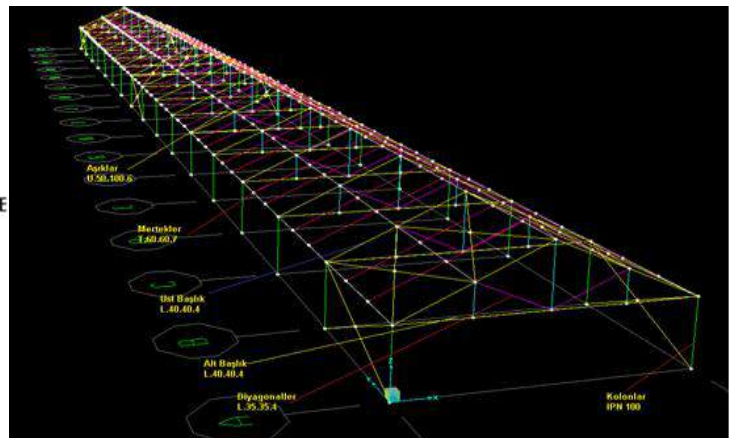


Figure 2. Greenhouse Plan AutoCAD Drawing (3D)

2.1.1. Climatic Situation in Antalya

In the research area, summers are hot and dry; winters are mild and rainy. The rainiest and coldest months of the year are December, January, and February; the driest and hottest months are June, July, August and September. It is seen that this climate is effective as low as 700-800 m on the lower slopes of the coastal mountains. The highest wind speed in 1997 in Antalya province is 34.2 m/s; The average annual temperature is 15 °C - 20 °C. The average temperature in July is 25 °C. The average temperature in January is 10 °C in the south and 3 °C to 7 °C in the interior (Anonymous, 2017).

2.2. Method

In the study, the moving loads on the selected greenhouses, simulated with meteorological observation records between 1991 and 2017 taken from the Meteorology Directorate. In this way, wind velocities and other climatic data in the study area are considered as projecting criteria in the SAP2000 program. The calculation with SAP2000 computer program is explained in detail. The external loads acting on the bearing systems are calculated according to the materials, the slope of the roof. They are transformed into a uniformly distributed load and altogether applied to the structure. As the external load; wind load, glass cover load, and plant load were picked. SAP2000 is a static analysis program for both steel and reinforced concrete structures and is a general-purpose structural analysis program used for the analysis and sizing of building system models. The program performs the static analysis of the bearing system according to the finite element method. The loads specified in Table 2. All operations were performed on the SAP2000 screen with the help of the particular "Graphical User Interface."

According to this; Fixed loads (H): Core loads (Roof weight, Plant load)

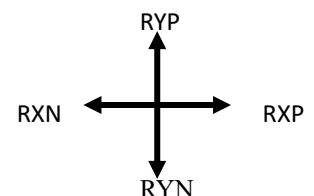
Moving loads: (HZ): Wind effect; horizontal and lateral wind forces, loads occurring in the installation stages,

The loads applied to the system are added to the system through specific loading situations. These loading states are G, Q, RXP, RXN, RYP, RYN. shown in Table 2.

Table 2. Assignment of Loads from Carrier Systems.

Snow Load	The coastal areas where the greenhouse is heavily built have not been considered because of the lack of snow. (Anonymous, 1997, 2003) (Simsek, 2014).
Wind Load	The highest wind speed measured in Antalya province in 1997 February is 34,2 m/s; and taken as $q = \frac{34,2^2}{1600} = 0,74 \text{ kN} / \text{m}^2 = 74 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (Anonymous, 2017).
Earthquake Load	Earthquake load was not considered in the study because of the small total weight in greenhouse constructions (Anonymous, 1997; Anonymous, 2003).
Cover Load	A load of 10 kg /m ² for 4 mm thick glass material (Anonymous, 2012)
Plant Load	The plant load for the greenhouse is 15 kg/m ² (Simsek, 2014).
Carrier System Weight	ST37 flexible structure steel has a unit volume weight of 7.85 t /m ³ , a tensile strength of 3.700 kg / cm ² , a yield limit of 2.400 kg/cm ² and an elasticity modulus of 2.100.000 kg / cm ² . The SAP2000 program calculates the structural weight per unit volume weight according to the cross sections entered (Anonymous, 1997; Anonymous, 2003)

- G: Constant load (H):
- Q: Plant load; Plant weights for model greenhouses were taken at average 15 kg / m²
- Moving load (Hz):
- RXP: Wind load in + X direction
- RXN: Wind load in the -X direction
- RYP: Wind load in + Y direction
- RYN: Wind load in -Y direction



The SAP2000 program automatically calculates the vertical building loads by taking advantage of the unit volume weight of the materials used. As a result, the greenhouse structure is modeled originally regarding carrier system and load distribution. This situation allowed to make a real calculation. These loads, which are defined and added as distributed loads to the elements, are added to the calculations at specific rates by way of combinations. Accordingly, six different loading combinations were created. The program worked according to these load groups. In the event of the most adverse conditions occurring during the analysis, the results are assessed.

- C0: $G + 0.3Q$ (constant + 0.3 moving load)
- C1: $G + Q$ (constant + moving load)
- C2: $G + Q + RXP$ (constant + moving load + wind load in X direction)
- C3: $G + Q + RXN$ (constant + 0.3 moving load + wind load in -X direction)
- C4: $G + Q + RYP$ (fixed + moving load + wind load in Y direction)
- C5: $G + Q + RYN$ (constant + 0.3 moving load + wind load in -Y direction)

American AISC-ASD89 standards and Turkish standards TS 498 and TS EN 13031-1 are the same. These standards are selected as the steel design directive. In this regulation, the capacity ratio (Demand / Capacity Ratio Limit) is set to 1. This value can be summarized as the ratio of the most negative stress (kN/m^2) to the steel safety stress (kN/m^2) obtained as a result of the combinations. This ratio should be between 0 and 1 (Figure 3). It is seen that the color scale has the highest steel level of stretch ratio with red color and very little tension in gray color. Therefore, it can be said that the section defined in cases where the tensile ratio is closer to 1 or greater than 1 is insufficient when it is 0, no stress occurs, and between 0.5 and 0.7, it is the optimum section stress are given in Figure 3.



Figure 3. Steel Level of Stretch Ratio

3. Results and Discussion

The primary purpose of dissolving the widely used greenhouse samples in the region is to show that by using the SAP2000 structural analysis program, it is possible to study in detail the exceptional points in the conveying system, the complex junction details and the critical regions to which large loads are transferred, and more accurate results can be achieved Figure 4. The applied method is explained in the research findings of selected parameters for design, types of sections, loads, methods of calculating load components, programs used, analysis results according to models, load curves for the equations and components used in dimensioning, section effects and stresses. EUROCODE for the sections used for greenhouse construction. The analysis was carried out with the profile (IPN, HEA, T, UPN, L, 2L) sections selected here. With the SAP2000 program, the horizontal and lateral forces at the joints and stresses that can occur in XZ and YZ axes can be easily seen on the screen. The analysis and the dimensioning of the bearing systems are made according to the flow diagram given in the study.

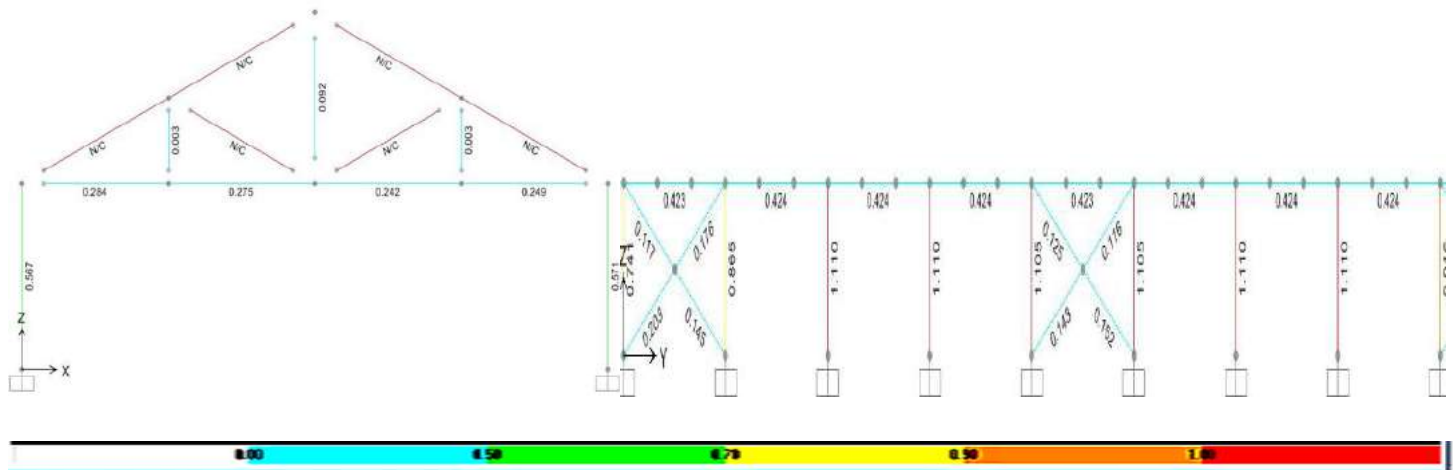


Figure 4. SAP2000 Program (RXP Direction • RYP Direction) Steel Level of Stretch Ratio and stress control and bar sections screen

In SAP2000, the stresses of the rod forces in the roof truss system of the greenhouse are shown due to the maximum load. Based on these values, it was determined that it could not carry the forces on the greenhouse with the existing sections. As a result of the solution, enough strength was obtained in the structural elements, while the increase in the upper heads and diagonals, and the reduction of the lower headers and sections occurred. Considering the total material consumption of the greenhouse, which is given in the material section, which has the existing section characteristics; with the new cross-section values of the single-span greenhouse after the use of the SAP2000 program, it was determined that the construction of 2.736 kg less steel material would result in a decrease in the total weight of the greenhouse construction materials by 3.79 kg/m^2 . The reduction in the total amount of steel material in the greenhouse structure will also reduce the construction cost. Reducing the cost did not reduce the strength of the structure. The cross-section change in the upper headers and the diagonals is made as automatic (Auto select). In the automatic selection of the program data, the section values are selected. Accordingly, it was determined that the material could be saved with the right project. To increase the wall thickness of the profiles used or cross-tension between the column is determined as a solution. Increasing these tensioners may increase the strength of the greenhouse and reduce the amount of material. In addition, reduction of lovers can be considered as a different solution. The 2L profile can be used instead of the L profile. More rigid elements in the main carrier elements

than the pipe profile; IPN or UPN steel can be preferred. The stiffness can be increased in the conveying system of the structure using each interval. In SAP2000, the stresses of the rod forces in the roof truss system of the greenhouse are shown due to the maximum load. Based on these values, it was determined that it could not carry the forces on the greenhouse with the existing sections. As a result of the solution, enough strength was obtained in the structural elements, while the increase in the upper heads and diagonals, and the reduction of the lower headers and sections occurred. Considering the total material consumption of the greenhouse, which is given in the material section, which has the existing section characteristics; with the new cross-section values of the single-span greenhouse after the use of the SAP2000 program, it was determined that the construction of 2.736 kg less steel material would result in a decrease in the total weight of the greenhouse construction materials by 3.79 kg / m². The reduction in the total amount of steel material in the greenhouse structure will also reduce the construction cost. Reducing the cost did not reduce the strength of the structure. The cross-section change in the upper headers and the diagonals is made as automatic (Auto select). In the automatic selection of the program data, the section values are selected. Accordingly, it was determined that the material could be saved with the right project. To increase the wall thickness of the profiles used or cross-tension between the column is determined as a solution. Increasing these tensioners may increase the strength of the greenhouse and reduce the amount of material. In addition, reduction of lovers can be considered as a different solution. The 2L profile can be used instead of the L profile. More rigid elements in the main carrier elements than the pipe profile; IPN or UPN steel can be preferred. The stiffness can be increased in the conveying system of the structure using each interval. SAP2000 Analysis Evaluation of results;

- Single-span systems are not economical because they increase the cost of construction and do not increase the product yield.
- Although the number of openings increases, the amount of steel and cover material falling to the unit area decreases; Three-span systems are the most suitable systems due to the ventilation and processing efficiency.
- Greenhouse glass (64 cm x 50 cm, 80 cm x 80 cm, 65 cm x 58 cm, etc.) can be produced in different sizes. However, depending on the frequency of rafters, 80 cm x 80 cm or 100 cm x 100 cm greenhouse glass dimensions have a suitable geometry. Winding damage in the glass cover and the wind damage in the plastic cover. Therefore, the thickness of the glass used in the roof should be at least 4 mm, and the plastic cover should be fixed in such a way that it does not allow ballooning to the construction.
- If the roof angle is between 24°-28°, the wind load on the roof of the greenhouse is minimal in the direction of pressure. This reduces the cross-sectional values in terms of strength.
- 2L profile can be used instead of L profile in glass-covered greenhouses. More rigid elements (HEA, UPN) may be preferred in the main carrier elements instead of the steel tube profile (O). The stiffness can be increased in the conveying system of the structure using each interval.
- Consequently, the greenhouses to be built in the region should be solved in terms of strength with the help of building analysis programs. In addition, the use of steel products that have basic standards and can be found on the market will be one of the most important advantages of greenhouse structures.

4. Conclusion

The lack of well-prepared greenhouse projects, the lack of knowledge of the necessary structural features and the lack of care during construction make the greenhouses poorly engineered agricultural production structures. Greenhouses are simple structures, making as much use of the existing ecological conditions as possible. This leads to a significant loss of productivity and quality. To prevent structural damage;

- The use of large cross-section structural construction material reduces both the amount of light entering the greenhouse and the interior columns of the wood or profile used restrict the in-house greenhouse mechanization. To avoid this, the smallest sections that can provide the necessary strength in the plan and the most significant openings that will allow for the mechanization need to be identified.
- Due to easier installation and ease of use of materials in plastic covered greenhouses, bowed roof systems should be preferred.
- According to long years measurements; For Antalya, the highest wind speed was 34.2 m/s with winds swirling west-southwest in February so that the long axis should be positioned taking into consideration the prevailing wind direction while planning the runway. Considering the wind load, the sidewall heights in the study area should be at least 2 m and at most 4 m.
- Project selection and construction must be strictly carried out under the supervision of agricultural engineers, for greenhouse construction Turkish standards.
- Applications such as heating, irrigation, fertilization, ventilation, and construction planning, which require high technology and therefore require high installation costs, should be automated and controlled by the computers and current programs.

- Appliances made by public or private companies; must have a plastic or glass covered spring or cradle roof and automation that is up-to-date, conforming to European Union standards and regional climatic conditions.

Recommendations to Producers in Antalya Province and districts;

- Ignoring engineering services in order to make the greenhouse cheaper means faults in the selection of material types and sections of materials for the structural systems of greenhouses are made. Even worse is the fact that local producers have built greenhouses without projectors. This situation may cause greenhouses to collapse and consequently massive financial losses.
- Construction of inner columns with wooden or metal profiles in greenhouses for carrier purposes limits the mechanization of the greenhouse.
- Greenhouse systems with spring roofs are preferred in greenhouses in the region, which are more advantageous for easy installation and ease of use.

5. Acknowledgment

This study; It was produced from a Ph.D. thesis by Burak SALTUK at the Institute of Natural and Applied Sciences, Çukurova University.

References

- Anonymous, (1997). Turkish Standardization Institute TS 498 Design Loads for Buildings, Account Values of Loads to be Taken into Consideration the Dimensioning of Structural Elements. Turkish Standards Institute. ICS 91.040 Ankara (Turkish)
- Anonymous, (2003). Turkish Standardization Institute TS EN 13031-1 Greenhouses Design and Construction Part 1: Commercial Production Greenhouses ICS 65.040.030 Ankara(Turkish)
- Anonymous, (2012) Unit weights of materials <http://www.muhendislikbilgileri.com/?pnun=26&pt=%C3%96NEML%C4%B0+%C3%96ZG%C3%9CL+A%C4%9EIRLIKLER> (Turkish) Accessed date: 22.03.2019
- Anonymous, (2017). General Directorate of Meteorology (MEVBIS) Long Term Climate data 1991-2017
- Anonymous, (2018). Greenhouse Potential and protective cover type for Turkey Turkish Statistical Institute <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> Accessed 05.11.2018
- Anonymous, (2019a) Antalya struggles to recover after devastating tornado Daily Sabah Turkey. <https://www.dailysabah.com/turkey/2019/01/26/antalya-struggles-to-recover-after-devastating-tornado> Accessed date: 22.03.2019
- Anonymous, (2019b). Whirlwind injures 38 in touristic Antalya News Turkey Local <http://www.hurriyetdailynews.com/whirlwind-injures-38-in-touristic-antalya-122412> Accessed date: 22.03.2019
- Baytorun, A. N., (1995) Greenhouses. (Turkish) Cukurova University Faculty of Agriculture Books Publication No.110 Adana, Turkey 1-374
- Baytorun, A.N., Gügercin, Ö. (2015). Improving Energy Efficiency in Greenhouses. Cukurova University Journal of Faculty of Engineering and Architecture, 30 (2): 125-135. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/211157> (Turkish) Accessed date: 05.11.2018
- Boyacı, S., Akyüz, A., Baytorun, A.N., Çaylı, A. (2016). Determination of the Agricultural Potential of Kirsehir Province (Turkish) Nevsehir Journal of Science and Technology Volume 5 (2) 142-157 2016 DOI: 10.17100 / nevbiltek.284738
- Castilla, N., Hernandez, J. (2007) Greenhouse Technological Packages for High-Quality Crop Production ISHS Acta Horticulture 761:285-297 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.761.38> Accessed 03.05.2018
- Çağdaş, S., (2004) Modeling of Applied SAP2000 Building Systems Static and Dynamic Analysis. (Turkish) Turkmen Publishing, 593 s., İstanbul/ Turkey
- Doğaka, (2015). Eastern Mediterranean Development Agency TR63 Region Greenhouse (Coverage Plant Breeding) (Turkish) Sector Report 2015.pdf http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_622_LK5L43WG_Seracilik-ortualti-Bitki-Yetistiriciligi-Sektor-Raporu-2015.pdf Accessed date:5.11.2018
- Eker M.M. (2012) Target in geothermal greenhouses, 30 thousand hectares. (Turkish) Geothermal Municipalities Magazine Number 6. s.5-14. http://jkbb.org.tr/User_Files/jkbb_dergi_6.pdf Access date: 11.02.2019
- Mandalik, A., (2001) Single Span-Steel Construction Determination of the Preliminary Cost of Structures in the Underground (Turkish) Yıldız Technical University Architecture Program (MSc Thesis) İstanbul, Turkey

- Montero, J., Teitel, M., Baeza, E., Lopez, J., Kacira, M. (2013) Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops Principles for Mediterranean climate areas FAO, Rome. 63-92 <http://www.fao.org/3/a-i3284e.pdf> Accessed 01.05.2018
- Öneş, A., (1986). Greenhouses Building Technics Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:970, (Turkish) Ankara
- Saltuk, B., (2005) A Study on the Structural Analysis and Development of Plastic Greenhouses in Mersin and its Provinces. (Turkish) Çukurova University, Agriculture Faculty, (MSc Thesis) Adana Adana, Turkey.
- Simsek, E., (2014). Greenhouses Production Systems Unit 2 (Turkish) Anadolu University, Eskisehir/Turkey Publication No:2275 ISBN 978-975-06-0949-7
- Tekinel, O., Baytorun, A.N., (1990). New Technologies in Greenhousing. (Turkish) 5. Greenhouse Symposium, Ege University Faculty of Agriculture, s. 11-20, İzmir
- Yağanoğlu A.V. ve Örüng İ. (1997). Developments in Greenhouse and Greenhouse Types (Turkish) 2. Greenhouses Symposium, 31 May-01 June 1997, Kütahya
- Yüksel, A.N. (2000). Greenhouses Building Technics. (Turkish) Hasad publications İstanbul
- Zabeltitz, Chr.Von. (2011). Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Springer Verlag Berlin Heidelberg page 302 <https://www.kisa.link/LIZf> Accessed date: 1.11.2018.



Investigation of Hydrogen Production from Sodium Borohydride Methanolysis in the Presence of Al₂O₃/Spirulina Platensis Supported Co Catalyst

Mustafa Kaya^{1*}, Mesut Bekirogullari²

¹ Siirt University, Department of Chemical Engineering, Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0002-0622-3163)

² Siirt University, Department of Chemical Engineering, Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0001-9539-9234)

(First received 5 April 2019 and in final form 2 May 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.549911)

ATIF/REFERENCE: Kaya, M. & Bekirogullari, M. (2019). Investigation of Hydrogen Production from Sodium Borohydride Methanolysis In the Presence of Al₂O₃/Spirulina Platensis Supported Co Catalyst. European Journal of Science and Technology, (16), 69-76.

Abstract

In this study, Al₂O₃/Spirulina Platensis mixture was used for the first as support material. The aim is to demonstrate that microalgae can be used as a new, economic and environmental support agent to increase the efficiency of the catalysts that will be eventually used in the production of hydrogen. The strain was grown by preparing the culture medium containing all the necessary nutrients as described in the literature. To synthesize the catalyst for the production of hydrogen through methanolysis of sodium borohydride (NaBH₄), phosphoric acid (3M H₃PO₄) was used as the protonation agent for the selected strain. After achieving sufficient density, the strain was dried and mixed with Al₂O₃ in the ratio of 1/1. Modified Al₂O₃/S. Platensis mixture was finally blended with cobalt ions and the mixture was burned. As a result of this procedure Al₂O₃/S. Platensis supported Co catalyst was produced. The catalyst was prepared with the addition of different Co²⁺ metal concentrations, 10%, 20%, 30%, and 40% respectively. In the present study, the experiments were generally carried out with 10 ml methanol solution containing in 0.025 g NaBH₄ with 0.1 g catalyst at 30 °C. The hydrogen obtained in experimental studies was determined volumetric in the gas measurement system. Here, different NaBH₄ concentrations, catalyst amount and different temperature effects were investigated. The effect of the amount of NaBH₄ was investigated with 1%, 2.5%, 5%, and 7.5% ratio of NaBH₄ while the influence of the concentration of catalyst was carried out 0.05, 0.1, 0.15, and 0.25 g catalysts. To investigate the performance of the catalyst on hydrogen production with NaBH₄ methanolysis under different temperatures, 30, 40, 50 ve 60 °C, relatively. The experiments by using Al₂O₃/S. Platensis supported Co Catalyst reveal that the best metal ratio was 10% Co²⁺. In addition, the maximum hydrogen production rate through methanolysis reaction of NaBH₄ with this catalyst was found to be 5747.1 mLmin⁻¹gcat⁻¹. Also, the activation energy was determined to be 34.67 kJ mol⁻¹. Moreover, different NaBH₄ concentrations, catalyst amounts and temperature studies of the fabricated catalyst were carried and it was discovered that there was no decline in the % of conversion for the synthesized catalyst.

Keywords: Sodium Borohydride; Al₂O₃/S. Platensis supported catalyst; Cobalt; Methanolysis

Al₂O₃/Spirulina Platensis Destekli Co Katalizörü Varlığında Sodyum Borhidrürün Metanolizinden Hidrojen Üretimini İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, Al₂O₃/Spirulina Platensis mikroalg karışımı ilk kez destek maddesi olarak kullanılmıştır. Buradaki amaç yenilenebilir enerji kaynağı olan hidrojenin üretiminde kullanılan katalizörlerin etkinliğini arttıracak yeni, ekonomik ve çevreci destek maddesi olarak mikroalgin kullanılabilceğini ortaya koymaktır. Al₂O₃/S. Platensis destekli Co katalizörü hazırlanırken kullanılacak olan mikroalg (Spirulina Platensis) türü literatürde belirtilen kültür ortamı hazırlanarak büyütülmüştür. Sodyum borhidrürün (NaBH₄)

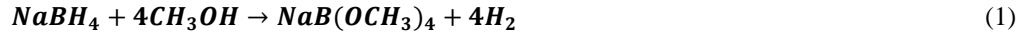
¹ Corresponding Author: Siirt University, Department of Chemical Engineering, Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0002-0622-3163), mustafakaya2011@gmail.com

metanoliz reaksiyonundan hidrojen üretimi için katalizör destek maddesi olarak kullanılacak *S. Platensis* mikroalginin protonlanması için fosforik asit (3M H₃PO₄) kullanılmıştır. Daha sonra mikroalg, Al₂O₃ ile 1;1 oranında karıştırılarak destek maddesi olarak hazır hale getirilmiştir. Bu modifiye edilmiş Al₂O₃/*S. Platensis* karışımı destek maddesi, kobalt iyonları ile yakıldıktan sonra indirgenmiş ve Al₂O₃/*S. Platensis* destekli Co katalizörü elde edilmiştir. Al₂O₃/*S. Platensis* destekli katalizöre Co²⁺ metali ilavesi %10, %20, %30 ve %40 oranında eklenerek katalizör sentezi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, genel olarak deneyler 30 °C'de 0,025 g NaBH₄ içeren 10 mL'lik metanol çözeltisinde 0,1 g katalizör varlığında bozundurulmuş zamana bağlı hidrojen miktarları ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda elde edilen hidrojen, gaz ölçüm sisteminde hacimsel olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerde farklı NaBH₄ konsantrasyonları, katalizör miktarı ve farklı sıcaklık etkileri incelenmiştir. Deneylerde NaBH₄ miktarı incelenirken %1, %2.5, %5, ve %7.5 oranında NaBH₄ kullanılmış, katalizör miktarı etkinliği incelenirken ise sırasıyla 0.05, 0.1, 0.15, ve 0.25 g katalizör denenmiştir. Al₂O₃/*S. Platensis* destekli Co katalizörü varlığında NaBH₄ metanolizi ile hidrojen üretiminde, sıcaklık etkisini araştırmak için 30, 40, 50 ve 60 °C olmak üzere dört farklı sıcaklık deneyi yapılmıştır. Al₂O₃/*S. Platensis* destekli Co katalizörü kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde en iyi metal oranının %10 Co²⁺ olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra NaBH₄'ün metanoliz reaksiyonundan elde edilen maksimum hidrojen üretim hızı 5747,1 mLdak⁻¹gkat⁻¹ ve katalizörün aktivasyon enerjisi 34.67 kJ mol⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda, üretilen katalizörünün yapılan farklı NaBH₄ konsantrasyonları, katalizör miktarları ve sıcaklık deneyleri için NaBH₄ dönüşüm %'sinde azalma olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sodyum Borhidrür, Al₂O₃/*Spirulina Platensis* Destekli Katalizör, Kobalt, Metanoliz

1. Introduction

Combustion of hydrocarbon-containing fossil fuels cause toxic waste such as unburned hydrocarbon, odor, CO and CO₂ which emits environmental impact and disrupts the ecological balance by creating environmental pollution. Therefore, finding and commercializing a long-term sustainable and environmentally friendly energy source becomes inevitable. In this sense, hydrogen, which is one of the alternative clean energy sources that will overcome environmental and energy problems in the future, gets increasing attention. Consequently, new technologies are being developed by making researches about its use as clean energy [1]. Hydrogen energy is produced from the conversion of chemical energy into electrical energy that is stored within H-H bonds. Consequently, it is an ideal fuel for PEM (Proton Exchange Membrane) fuel cells. Additionally, water or water vapor are the two main by-products of hydrogen burning reaction with oxygen. Therefore, it has no negative impacts on the environment unlike fossil fuels. However, one of the main problems with the use of H₂ gas as fuel is the insufficiency of storage efficiency [2]. The desired priority features in hydrogen fueled vehicles are safe production, transportation and storage of sufficient amount of H₂ gas. Therefore, sodium boron hydrides having high hydrogen gas storage capacity are very important in terms of hydrogen storage. According to the reaction given in Equation 1, half of the hydrogen gas produced is obtained from sodium borohydride and the other half is from methanol and methanolysis is important in terms of reacting faster than hydrolysis.



However, there are several drawbacks encountered in the methanolysis of sodium borohydride [3-5]. Sodium borohydride degradation reactions are kinetically zero and the catalyst controls the rate of hydrogen production. However, use of catalyst containing precious metals such as Pt and Ru are not preferred due to being expensive. Therefore, attention has been drawn to synthesizing cheaper catalysts by applying different methods. This kind of studies are also very important for our country which has the richest boron mine in the world [6-10]. The activity of the catalyst is interrelated with its particle size and dispersion degree. One of the main potential route to optimize the particle size and dispersion degree is the use of support material. Several supporting material have been suggested in the literature such as SiO₂, carbon, nanotubes, activated carbon and Ni foam. However, these support material needs to be fabricated synthetically which increases the overall cost. Alternatively, biological materials can be utilized as support material to produce highly efficient catalysis which will eventually decrease the overall cost due to being abundant in the nature. In this study, Al₂O₃/*S. Platensis* supported Co catalyst was synthesized using Co²⁺ metal which relatively cheaper compare to precious metals. In the presence of this catalyst, NaBH₄ methanolysis experiments were examined for different sodium borohydride, different catalyst amounts and different temperatures. As a result of the obtained data, the results were evaluated, and kinetic parameters were determined.

2. Material and Method

The microalgae (*Spirulina Platensis*) strain, which was used when preparing Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalyst, was grown as shown in Figure 1 by preparing the culture medium containing all the necessary nutrients as given in Bekirogullari et al. [1]. The microalgae biomass was precipitated by centrifugation at 4000 rpm, washed with purified water and placed in oven at 80 °C to dry. Then, 20 g of *Spirulina Platensis* was blended with 100 mL of 3M H₃PO₄ and placed in an oven at 75 °C for 24 hours and microalgae biomass was made ready for use. It was then mixed with Al₂O₃ by taking 1: 1 ratio of *Spirulina Platensis* and adding 10%, 20%, 30%, 40% CoCl₂.6H₂O, respectively. These mixtures were dissolved in 25 mL of water were first stirred with a speed of 200 rpm at 80 °C and then allowed to dry in an oven at 105 °C for 2 hours. These dried samples were then burned at 300 °C for 2 hours in the furnace apparatus shown in Figure 2a.

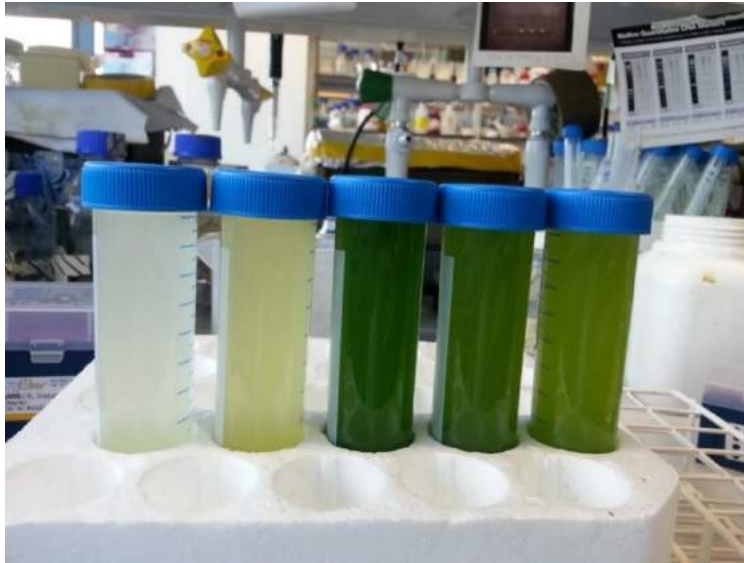


Fig 1. Cultivation of Microalgae Strain (*Spirulina Platensis*)

The prepared samples were dispersed with 20 mL of water and reduced by mixing with 5% 20 mL NaBH₄ solution in the presence of nitrogen gas. After reduction, Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalyst was filtered by vacuum pump and washed 3 times with deionized water and allowed to dry in an oven at 120 ° C in inert atmosphere for 2 hours. Finally, it was stored in an enclosed environment to prevent oxidation of the Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalyst. The system used for gas measurement in experimental studies is given in Figure 2b. The system consists of a reaction vessel, a gas collector and a thermostat used for temperature control. The amount of hydrogen gas obtained from the reaction in this system was recorded and plotted graphically.

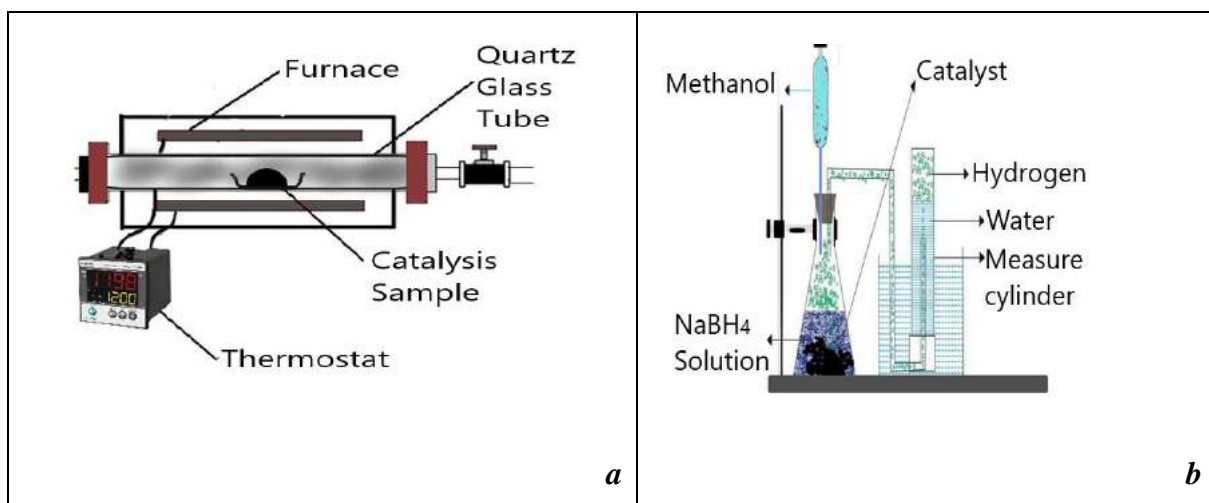


Fig 2. Furnace System Scheme for Catalyst Preparation (a) Hydrogen Gas Measurement Scheme (b)

3. Results and Discussion

3.1 Investigation of Metal Effect (Co²⁺)

In this study, experiments were carried out in the presence of 0.1 g of catalyst in 10 mL methanol solution containing 0.025 g NaBH₄ at 30 °C. Fig 3 shows the activity of Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalyst containing 30% Co²⁺ and pure Al₂O₃ catalysts containing 30% Co²⁺. As can be seen from Figure 3, the Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalyst yielded better than the catalyst synthesized using pure Al₂O₃. While the Al₂O₃/*Spirulina Platensis* (1:1) supported Co catalyst reduces the solution with the same concentration in about 13 minutes, the reaction completion time of the catalyst containing the pure Al₂O₃ appears to be about 24 minutes. According to these results, *Spirulina Platensis* microalgae strain contributed positively to Al₂O₃ supported Co catalyst. The results of metal addition (%10, %20, %30, %40) to Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported catalyst are given in Fig 4.

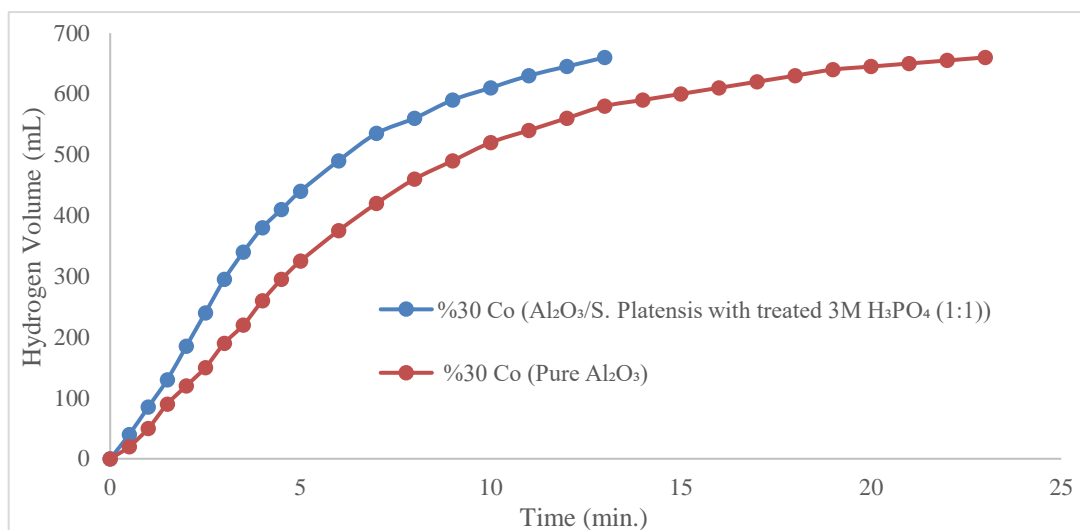


Fig 3. The variation of hydrogen production rate with time in methanol solvent medium (% 2,5 NaBH₄, w_{cat}=0,1 g, T=30 °C, V_{solution}=10 mL

As can be seen from Fig 4, increasing Co metal ratios addition to Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported catalyst had a negative effect on the rate of hydrogen production. The best result for the Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported catalyst was the catalyst containing 10% cobalt. The reaction completion time for this catalyst was approximately 11 minutes. On the other hand, with the effect of increasing metal ratios, it is seen that the reaction completion time is about 17 minutes for the catalyst containing 40% Co. As can be seen, the best metal ratio in Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalyst is %10 Co²⁺.

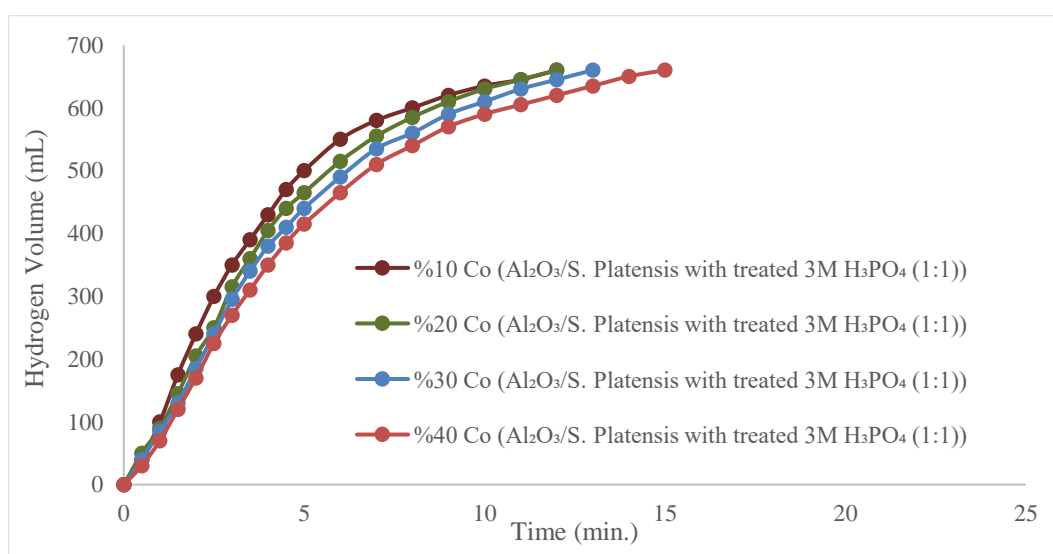


Fig 4. Variation of the hydrogen production rate over time in different solvent media (% 2,5 NaBH₄, w_{cat}=0,1 g, T=30 °C, V_{solution}=10 mL)

3.2 Catalyst Amount Effect

The rate of hydrogen from sodium boron hydride depends on the catalyst that will be used. In another word, it essentially depends on the amount of catalyst used, as well as the catalyst type. Therefore, the effect of different catalyst amounts on NaBH₄ solution was investigated in the second stage of this study. When the catalyst activity was examined, different amounts of catalyst were used under the same temperature and in the presence of the same NaBH₄ concentration. The change in the amount of hydrogen production over time is plotted in Fig 5.

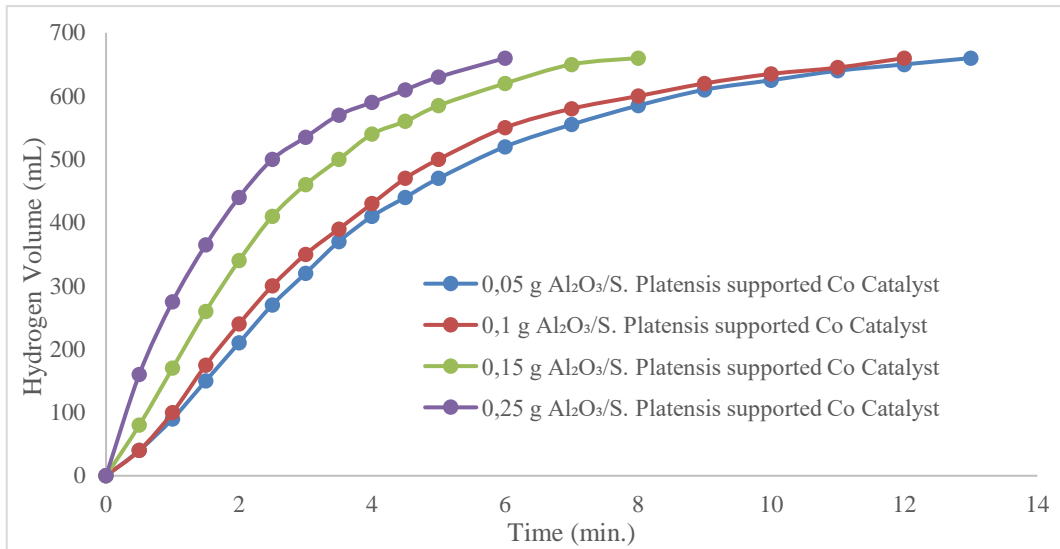


Fig 5. The effect of different amounts of Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalyst on the degradation of sodium borohydride (% 2,5 NaBH₄, T=30 °C, V_{solution}=10 mL)

As can be seen in Fig. 5, increasing the amount of catalyst, generally increases the rate of hydrogen production. Hydrogen production rate increase is due to the increase in the active areas of the catalyst in proportion to the amount of catalyst. With the increase in the amount of catalyst used, the reaction time of sodium borohydride is reduced and the rate of hydrogen production increases. In Fig 5, the experiment performed using 0.25 g of catalyst in the same sodium borohydride concentration solution was completed in about 6 minutes, while the experiment performed using 0.05 g of catalyst was completed in 13 minutes. The reaction times of other used catalysts (0.1g and 0.15g) ends in 12 minutes and 8 minutes, respectively. Thus, it is possible to say that this reaction is a catalyst-controlled reaction and the speed increases depending on the amount of catalyst.

3.3 Effect of NaBH₄ Amount

The effect of Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalyst on different NaBH₄ concentrations was investigated and the results are shown in Fig 6. As can be seen in Fig 6, the reaction rate increases with increasing NaBH₄ concentration. In the reaction of 7.5% of the NaBH₄ solution, it is seen that the amount of hydrogen produced increases as well as the increase of the reaction rate. In another NaBH₄ solution, which have a lower concentration, the rate of hydrogen production decreases proportionally and it is observed that the amount of hydrogen obtained depending on the concentration also decreases. Thus, in experiments carried out using constant temperature and constant catalyst amount, the hydrogen production rate and the amount of hydrogen obtained are generally reduced in the presence of different amounts of sodium borohydride.

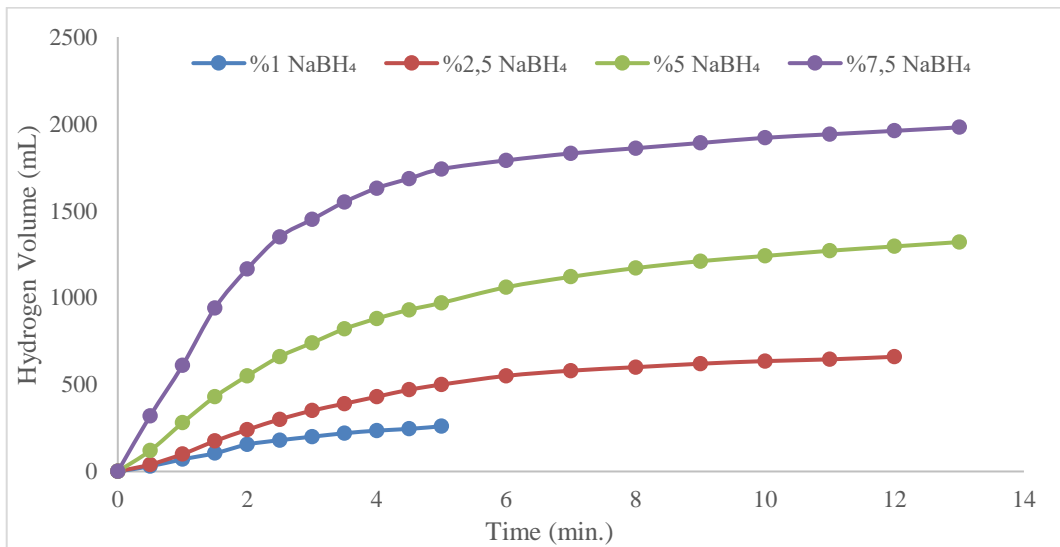


Fig 6. Investigation of the effect of different sodium boron hydride concentrations on the hydrogen production rate in the presence of Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalysts (w_{cat}=0,1 g, T=30 °C, V_{solution}=10 mL)

3.4 Temperature Effect

In order to reveal the influence of temperature on hydrogen production from NaBH_4 methanolysis reaction catalyzed by $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{S. Platensis}$ supported Co catalyst, temperature experiments were performed at four different temperatures (30, 40, 50 and 60 °C). 0.1 g $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{S. Platensis}$ supported Co catalyst (10% Co) and 2.5% NaBH_4 were used to carry out temperature experiments. The temperature experiments results containing both the hydrogen volume and the reaction rates are plotted in Fig 7, while the $1/T$ graph versus $\ln k$ is shown in Fig 8. As shown in Fig 7, increasing the temperature from 30 to 60 °C decreases the completion time of the reaction while increasing the produced hydrogen volume. It was found that the time that is required to complete the reaction at the aforementioned temperatures are 5, 12, 12.7 and 13 minutes, respectively. In the meantime, at the specified temperatures the maximum hydrogen production rates were determined as 1309.9, 2246, 3231.6 and 5747.1 $\text{mL min}^{-1}\text{g.cat}^{-1}$, respectively. Arrhenius equation was applied to determine the activation energy of NaBH_4 methanolysis catalyzed by $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{S. Platensis}$ supported Co catalyst:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

here k is the reaction rate constant, A is the reaction constant, E_a is the activation energy (kJ/mol), T is the temperature (K) and R is the ideal gas constant. The $\ln k$ versus $1/T$ plot for the methanolysis reaction is linear. The activation energy was found by reading the slope of the straight line, $34,67 \text{ kJ mol}^{-1}$. As can be seen $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{S. Platensis}$ supported Co catalyst has low activation energy. These results clearly emphasize the superiority of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{S. Platensis}$ -supported Co catalyst used in the production of hydrogen by NaBH_4 methanolysis.

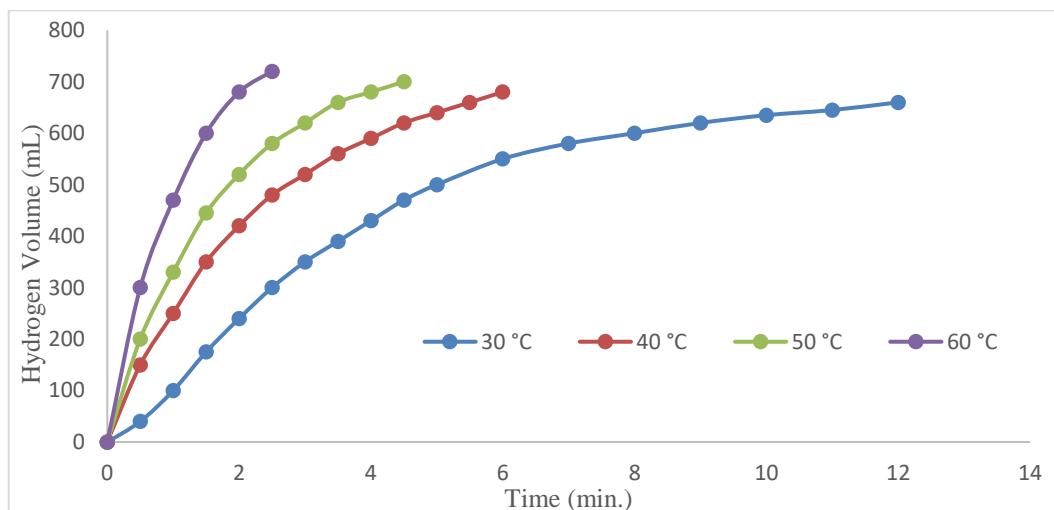


Fig 7. Variation of methanolysis in the presence of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Spirulina Platensis}$ supported Co catalyst in sodium boron hydride solution at different temperatures ($w_{\text{cat}}=0,1 \text{ g}$, $\%0.25 \text{ NaBH}_4$, $V_{\text{solution}}=10 \text{ mL}$)

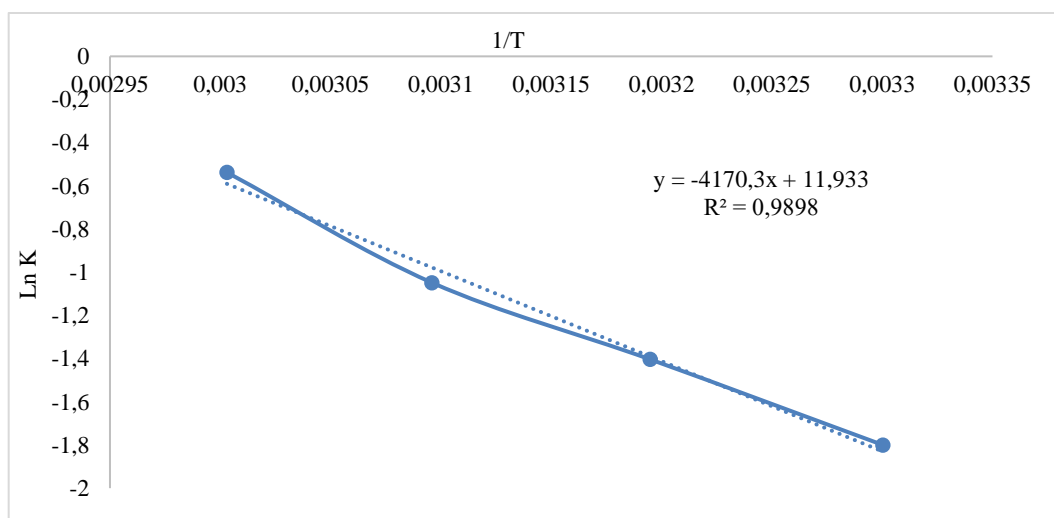


Fig 8. Kinetic graph of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Spirulina Platensis}$ supported Co catalyst ($w_{\text{cat}}=0,1 \text{ g}$, $\%0.25 \text{ NaBH}_4$, $V_{\text{solution}}=10 \text{ mL}$)

Table 1 present maximum hydrogen production rates and activation energies obtained from cobalt containing catalysts with different supported materials. As can be seen from the table use of biological material as support materials can significantly improve the hydrogen production rate. These results point out the importance of use of abundant biological resources as support material.

Table 1. The maximum hydrogen production rates and activation energies of NaBH₄ methanolysis by catalysts obtained using different support materials in the literature

Catalyst	Maximum hydrogen production rate (mLmin ⁻¹ gcat ⁻¹)	Activation energy (kJmol ⁻¹)	References
Co-B/tSepiolite	424.3		[11]
Co-CFC catalyst	1119		[12]
Co-P/CNTs-Ni foam	2430	49.94	[13]
Ru5Co/C	2586	23.82	[14]
Co/Al ₂ O ₃	4400	21.9	[15]
Co-B catalyst supported on <i>C. Vulgaris</i> microalgal strain treated with HCl	13215	25.22	[1]
Al ₂ O ₃ / <i>Spirulina Platensis</i> supported Co catalyst	5747.1	34.67	This study

4. Conclusions and Recommendations

Hydrogen energy is one of the most important renewable and environmentally friendly energy solutions that has been proposed to replace the fossil fuels. Currently, hydrogen production is still under development due to its storage, production cost and more environmentally friendly production methods. This study aims to produce a more stable and environmentally friendly catalyst that will be used in the production of hydrogen energy. In the present study, in order to produce hydrogen through methanolysis reaction of NaBH₄, Al₂O₃/*Spirulina Platensis* supported Co catalysts was fabricated. To synthesize the catalyst for the production of hydrogen through methanolysis of sodium borohydride (NaBH₄), phosphoric acid (3M H₃PO₄) was used as the protonation agent for the selected strain. Different concentrations of Co ions (10% to 40%) were used to define most efficient catalyst with optimal Co ions and the optimal Co concentrations was found to be 10%. In order to analyze the efficiency of the produced catalyst, experiments with different NaBH₄ concentrations, catalyst amount and different temperature were carried out. The maximum production rate for the produced catalysts was found to be 5747,1 mL min⁻¹gcat⁻¹. In every usage the synthesized catalyzed showed a moderately decent performance by producing nearly same amount of hydrogen through methanolysis reaction of NaBH₄ with 100% conversion. Moreover, the influence of temperature on the hydrogen production through reaction of NaBH₄ methanolysis was performed. With the aid of temperature experiments, the activation energy for the *S. Platensis* microalgal strain-supported Co-B catalyst from the slope of lnk versus 1/T and it was found to be 34.67 kJ mol⁻¹. The results showed that the use of microalgae biomass as support material is a long-term promising candidate. Consequently, this work shows both importance of hydrogen energy and production of efficient catalyst.

References

- [1] Bekiroğullari, M., Kaya, M., & Saka, C. (2019). Highly efficient Co-B catalysts with *Chlorella Vulgaris* microalgal strain modified using hydrochloric acid as a new support material for hydrogen production from methanolysis of sodium borohydride. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(14), 7262-7275.
- [2] Zhang, J., Fisher, T. S., Gore, J. P., Hazra, D., & Ramachandran, P. V. (2006). Heat of reaction measurements of sodium borohydride alcoholysis and hydrolysis. *International journal of hydrogen energy*, 31(15), 2292-2298.
- [3] Ramya, K., Dhathathreyan, K. S., Sreenivas, J., Kumar, S., & Narasimhan, S. (2013). Hydrogen production by alcoholysis of sodium borohydride. *International Journal of Energy Research*, 37(14), 1889-1895.
- [4] Yan, K., Li, Y., Zhang, X., Yang, X., Zhang, N., Zheng, J., ... & Smith, K. J. (2015). Effect of preparation method on Ni₂P/SiO₂ catalytic activity for NaBH₄ methanolysis and phenol hydrodeoxygenation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(46), 16137-16146.
- [5] Sahiner, N., & Demirci, S. (2017). Natural microgranular cellulose as alternative catalyst to metal nanoparticles for H₂ production from NaBH₄ methanolysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 202, 199-206.
- [6] Ekinci, A., Şahin, Ö., Saka, C., & Avci, T. (2013). The effects of plasma treatment on electrochemical activity of Co-W-B catalyst for hydrogen production by hydrolysis of NaBH₄. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(35), 15295-15301.
- [7] Xu, D., Wang, H., Guo, Q., & Ji, S. (2011). Catalytic behavior of carbon supported Ni-B, Co-B and Co-Ni-B in hydrogen generation by hydrolysis of KBH₄. *Fuel processing technology*, 92(8), 1606-1610.
- [8] Ahlström-Silversand, A. F., & Odenbrand, C. U. I. (1999). Modelling catalytic combustion of carbon monoxide and hydrocarbons over catalytically active wire meshes. *Chemical Engineering Journal*, 73(3), 205-216.
- [9] Sandelin, F., Oinas, P., Salmi, T., Paloniemi, J., & Haario, H. (2006). Dynamic modelling of catalytic liquid-phase reactions in fixed beds—kinetics and catalyst deactivation in the recovery of anthraquinones. *Chemical Engineering Science*, 61(14), 4528-4539.
- [10] Helvacı, C. (2016). Türkiye borat yatakları Jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 4-41.
- [11] Meşe, E., Figen, A. K., Filiz, B. C., & Pişkin, S. (2018). Cobalt-boron loaded thermal activated Turkish sepiolite composites (Co-B@ tSe) as a catalyst for hydrogen delivery. *Applied Clay Science*, 153, 95-106.
- [12] Ali, F., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2018). Enhanced H₂ generation from NaBH₄ hydrolysis and methanolysis by cellulose micro-fibrous cottons as metal templated catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(13), 6539-6550.
- [13] Wang, F., Zhang, Y., Wang, Y., Luo, Y., Chen, Y., & Zhu, H. (2018). Co-P nanoparticles supported on dandelion-like CNTs-Ni foam composite carrier as a novel catalyst for hydrogen generation from NaBH₄ methanolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(18), 8805-8814.
- [14] Sahiner, N. (2018). Carbon spheres from lactose as green catalyst for fast hydrogen production via methanolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(20), 9687-9695.
- [15] Xu, D., Zhao, L., Dai, P., & Ji, S. (2012). Hydrogen generation from methanolysis of sodium borohydride over Co/Al₂O₃ catalyst. *Journal of Natural Gas Chemistry*, 21(5), 488-494.



Prediction of The Prices of Second-Hand Cars

Ozer Celik^{1*}, U. Omer Osmanoglu²

¹ Department of Mathematics-Computer, Eskisehir Osmangazi University Faculty of Science, Eskisehir, Turkey (ORCID 0000-0002-4409-3101)

² Department of Biostatistics, Eskisehir Osmangazi University Faculty of Medicine, Eskisehir, Turkey (ORCID: 0000-0002-1198-2447)

(İlk Geliş Tarihi 21 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 3 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.542884)

ATIF/REFERENCE: Celik, O., & Osmanoglu, O. (2019). Prediction of the Prices of Second-Hand Cars. *European Journal of Science and Technology*, (16), 77-83.

Abstract

In today's economic conditions, interest in second hand products has increased. Especially second-hand car or vehicles have a wide customer base. In the sector which has a workshop market, it is very important to make fast sales, to make the right pricing and to calculate the ideal prices of the cars in order to exchange at the right price. With linear regression analysis second-hand in such cases first determination of variables with effect on price, then it is possible to calculate the price by establishing estimating model. In this study, the model was established by determining 23 of 78 variables affecting the price such as price, brands and model years of 5041 second-hand cars. The Determination Rate (R^2) of these 23 variables was found to be 89.1%. Then, by using this regression model, second hand prices of the cars were estimated via machine learning algorithm. The data set is divided into two as training and test data (70-30% and 80-20%). As a result of the study, it was determined the affinities between the real values and the estimated values. The proximity rate ($\pm\%$) calculated in result of study shows affinity intensity of the estimation results to the true results. Via the prediction model established as a result of machine learning, the predictive accuracy rate was found to be 81.15% according to the 10% proximity of the correct results (upper limit; 110%, lower limit; 90%). According to the results, it is thought that machine learning technique could be second-hand to estimate second hand car prices. However, it is possible to reach a better estimation rate with a data set with more units and different variables.

Keywords: Prediction Price, Second-Hand Car, Machine Learning, Linear Regression.

İkinci El Araba Fiyatlarının Tahmini

Öz

Günümüz ekonomik koşullarında, ikinci el ürünlere ilgi daha da artmıştır. Özellikle ikinci el araba ya da araçların geniş bir müşteri tabanı bulunmaktadır. Böyle bir pazara sahip olan sektörde hızlı satış yapabilmek, doğru fiyatlandırma yapmak, doğru fiyattan alış-veriş yapabilmek için araçların ideal fiyatları hesaplamak büyük önem taşımaktadır. Bu gibi durumlarda kullanılan lineer regresyon analizi ile önce fiyat üzerinde etkisi olan değişkenlerin tespiti sonra tahminleme modeli kurulup fiyat hesaplamak mümkündür. Bu çalışmada, fiyat, marka ve model yılı gibi fiyatı etkileyen 5041 ikinci el otomobile ait 78 değişkenden 23'ü belirlenerek model oluşturulmuştur. Bu 23 değişkenin Açıklayıcılık Oranı (R^2) %89,1 olarak bulunmuştur. Daha sonra, bu regresyon modeli kullanılarak, araçların ikinci el fiyatları makine öğrenme algoritması ile tahmin edilmiştir. Veri seti eğitim ve test verileri olarak ikiye ayrılmıştır (%70-30 ve %80-20). Çalışma sonucunda gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki yakınlıklar tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda hesaplanan yakınlık oranı ($\pm\%$), tahmin sonuçlarının gerçek sonuçlara yakınlık derecesini göstermektedir. Makine öğrenmesi sonucu oluşturulan tahmin modeli ile doğru sonuçların %10 yakınlık derecesine göre (üst limit; %110, alt limit; %90) tahmin başarı oranı %81,15 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, ikinci el araba fiyatlarının tahmininde makine öğrenme

* Sorumlu Yazar: Department of Mathematics-Computer, Eskisehir Osmangazi University Faculty of Science, Eskisehir, Turkey, ORCID: ORCID 0000-0002-4409-3101, oz@ogu.edu.tr

tekniklerinin ikinci el olabileceği düşünülmektedir. Fakat daha fazla birim sayısına sahip bir veri seti ve farklı değişkenler ile daha iyi tahmin oranlarına ulaşmak mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Fiyat Tahminleme, İkinci El Araba, Makine Öğrenmesi, Doğrusal Regresyon.

1. Introduction

The automotive industry is the locomotive of the economy in almost all industrialized countries. Considering the fact that approximately 70% of the total motor car production of this industry is made up of automobiles, the dominant importance of the automobile sector in the world economy will be clearly understood [1].

On the other hand, in many countries, the sales volume of second-hand cars has become much larger than the sales volume of new cars. The most important factor in the second-hand car market is undoubtedly the differences or changes in the prices of second-hand cars. The fact that the prices of second-hand cars are much more variable than the prices of new cars makes it difficult for them to be predicted. Therefore, in order to estimate the prices of second-hand cars, first of all, it is necessary to collect long-term and qualified data [2].

Almost all major automobile manufacturers, who nowadays realize the potential of the second hand car market, have already entered this market or are preparing to enter. This in turn reveals the attractiveness of the second hand car market.

The Second Hand Car Market

As mentioned earlier, about 70% of total motor car production in the world automotive industry is composed of automobiles. In 2006, 87% of all motor cars manufactured in Europe were automobiles [3]. Based on these informations, it can be defined as “the basic building block of the automotive industry” for the automobile sector. The production of automobiles, along with the strong supplier industry, also supports the production of other cars [1].

The fact that second-hand car sales volume has become much larger than the new car sales volume in many countries, reveals the increasing importance of second-hand car markets. For example, the volume of the second-hand car market, which constitutes the largest retail sector in the US economy, is more than twice the volume of the new automobile market and is constantly growing [4]. In 2005, the number of second-hand cars sold in the US was 44 million and the sales value was 370 billion dollars [2].

The European second hand car market showed a slow but steady growth between 2003 and 2006. This trend was expected to continue in the following years. The market value reached a value of 263 billion dollars by the end of 2006. It was estimated that it would reach to 298.5 billion dollars with a growth of 11.3% between 2007 and 2012. The market volume reached approximately 28.3 million units by the end of 2006. It was projected to grow by 7.9% between 2007 and 2012 to reach a volume of 31 million units. In terms of countries, Germany is the largest market with a 26.3% market value. Germany is followed by England with 23.7%, France with 19.6% and Italy with 16.5% [5].

Literature Review

Genesova (1993), empirically examined the reverse selection in the second hand car market. It has been found that new car dealers (both new and second-hand cars) are different from those who tend to trade second-hand cars in the wholesale market (only from second-hand cars). Reverse-selection models suggest that the vendor type, which sells a higher percentage of trade in the wholesaler market, will, on average, sell higher-quality cars and receive a higher price in return. In order to test this estimation, a survey form of the wholesale behaviors of the dealers and the prices collected in the wholesale auction was used. Poor evidence was found for inverse selection [6].

Murray and Sarantis (1999) used a series of panel data on car features to estimate the hedonic price model of cars in the UK. The price differences between the various car models were examined in terms of the differences in the car characteristics. In the study, the prediction model was used to create a hedonic price index for automobiles [7].

Pazarlioglu and Gunes (2000) have created a hedonic price model suitable for cars in Turkey. First, the hedonic price model theory was discussed, then the empirical analysis results and the most appropriate hedonic model were determined. In the last part of the study, fuzzy hedonic model predictions and normal model estimates were compared to determine the best information fusion informing customers at a high level [8].

Anderson (2005) focuses on the safety of car and marginal value safety in his study in Sweden. He used the semi-logarithmic hedonic regression model for automobile prices. In the study, annual fuel expenditures, number of registered fatal events, number of registered injuries, horsepower, luggage capacity, fuel type were included in the model. According to the results of the study, a positive relationship was found between the safety level and the automobile price, but it was determined that the consumer's willingness to pay for a safe car was insufficient [9].

Alper and Mumcu (2007) studies have estimated the demand for new cars in Turkey. In the study, quarterly data and quarterly data of macroeconomic variables, price, quantity, quality and country of origin data were used. The market demand between 1996-1999 was estimated by using the Dynamic Generalized Least Squares Estimation method. Country of origin, as well as quality issues

to be important for automobile demand in Turkey and reached the finding that the presence of short-term price elasticity of demand for new cars [10].

Erdem and Senturk (2009) articles, hedonic regression techniques were used to determine the factors that affect second-hand car prices in Turkey. Regression models were estimated by using semi-log, log-linear and Box-Cox transformation methods on 1074 second-hand data sets. According to the results, diesel engine, black and gray car, automatic transmission, sunroof, production location (such as Japan, Germany, Korea or the US), the car's production year and engine capacity, such as the positive impact on prices, the number of services and sales in Istanbul has been found to have a negative impact on second hand car prices [11].

Matas and Raymond's (2009) semi-logarithmic hedonic regression model was used in the period of 1985-2005 in Spain. Fuel efficiency and size have a positive effect on prices [12].

Ecer (2013) investigated the determinants of the price of second-hand cars in the study. Two different modeling approaches were used in the analyzes. These; Hedonic model and Artificial Neural Networks (ANN). By using hedonic model, firstly the factors which determine the prices of second-hand cars and the statistically significant factors were determined. According to hedonic model results, the factors affecting the second hand car price are the car's brand and model, engine power, mileage, age, fuel type and transfer. Because hedonic functions have the potential to not be linear, ANN was used as an alternative to hedonic model and second hand car prices were estimated. According to the predicted performance results of the models, ANN has made better estimates and proved superiority compared to hedonic model [13].

Galarraga et al. (2014) used the European labeling system as a new alternative indicator for energy efficiency for light cars that classify cars according to their relative fuel consumption levels. They applied the hedonic price method to estimate the price functions for cars and thus to obtain the marginal price of highly rated cars in terms of energy efficiency. According to the results of the study, it is determined that the cars labeled A and B have similar properties but are sold at 3% to 5.9% higher than those with lower energy saving labels [14].

In the study of Prieto et al. (2015), the results of expectation theory are investigated in second hand goods markets. In particular, a hedonic price model was developed to address the price structure of the used automobile market in light of the expectation theory. It was determined that consumers avoided the risk when the second hand car's reliability was below the expected reference value and the second hand car's reliability was above the expected reference value. The model also shows how automobile quality affects residual values and how buyers evaluate second-hand cars [15].

Dastan (2016) aimed to determine the factors affecting the second hand car prices. For this purpose, horizontal cross-sectional data obtained from second hand car advertisements on websites were used. Indeed, it has been found that many features such as the front view camera, the brand, model of the car, age, traction, mileage, gear, fuel type, torque, width, fuel tank volume, ABS, panoramic glass roof, rear window defroster, power steering, start / stop, sunroof, cooled torpedo affect the price of the car [16].

Pal et al. (2018) used Random Forest, a controlled learning method to estimate the price of used cars. The model was chosen after careful exploration data analysis to determine the effect of each feature on the price. A Random Forest with 500 Decision Trees was created to train the data. From the test results, it was found that the accuracy of the training was 95.82% and the test accuracy was 83.63%. The model was able to accurately estimate the price of the cars by choosing the most suitable features [17].

Noor and Jan (2017) offer a vehicle price forecasting system using the supervised machine learning technique in their articles. The research uses multiple linear regression as a machine learning estimation method that provides 98% prediction precision. Using multiple linear regression, there are multiple independent variables, but there are one and only one dependent variable compared to the actual and predicted values to find the precision of the results. This article proposes a system for which the price is predicted to be the predicted variable, and this price is derived from factors such as vehicle model, brand, city, version, color, mileage, alloy wheels and power steering [18].

2. Method

2.1. Machine Learning

Learning has been described by Simon as the process of improving behavior through the discovery of new information over time. The learning is called Machine learning when perform by a machine. The concept of improvement is the status of finding the best solution for future problems by gaining experience from the existing examples in the process of machine learning [19]. With the development of information technologies over time, the concept of big data has emerged. The concept of big data is defined as very large and raw data sets that limitless and continue to accumulate, which cannot be solved by traditional databases methods [20].

The operations performed on the computer using the algorithm are performed according to a certain order without any margin of error. However, unlike the commands created to obtain the output from the data entered in this way, there are also cases where the decision making process takes place based on the sample data already available. In such cases, computers can make the wrong decisions such as mistakes that people can make in the decision-making process. In other words, machine learning is to gain a learning ability similar to human brain to computer by taking advantage of data and experience [21].

The primary aim of machine learning is to develop models that can train to develop themselves and by detecting complex patterns and to create models to solve new problems based on historical data [22].

Machine learning and data-driven approaches are becoming very important in many areas. For example, smart spam classifiers protect our e-mails by learning from large amounts of spam data and user feedback. Ad systems learn to match the right ads with the right content; fraud detection systems protect banks from malicious attackers; Anomaly event detection systems help experimental physicists to find events that lead to new physics.

2.2. Linear Regression

Learning has been described by Simon as the process of improving behavior through the discovery of new information over time. The learning is called Machine learning when performed by a machine. The concept of improvement is the status of finding the best solution for future problems by gaining experience from the existing examples in the process of machine learning [23]. With the development of information technologies over time, the concept of big data has emerged. The concept of big data is defined as very large and raw data sets that are limitless and continue to accumulate, which cannot be solved by traditional database methods [24].

The operations performed on the computer using the algorithm are performed according to a certain order without any margin of error. However, unlike the commands created to obtain the output from the data entered in this way, there are also cases where the decision-making process takes place based on the sample data already available. In such cases, computers can make the wrong decisions such as mistakes that people can make in the decision-making process. In other words, machine learning is to gain a learning ability similar to human brain to computer by taking advantage of data and experience [25].

The primary aim of machine learning is to develop models that can train to develop themselves and by detecting complex patterns and to create models to solve new problems based on historical data [26].

Machine learning and data-driven approaches are becoming very important in many areas. For example, smart spam classifiers protect our e-mails by learning from large amounts of spam data and user feedback. Ad systems learn to match the right ads with the right content; fraud detection systems protect banks from malicious attackers; Anomaly event detection systems help experimental physicists to find events that lead to new physics.

2.3. Data Set

The data set was created by drawing on ikinciyezi.com, auction web site, with the script written in Ruby programming language between the date of 20/12/2017-01/03/2018. In the estimation model, the data quality and reliability are increased by using the actual sales prices of the vehicles. This data set has been subjected to preliminary processing steps such as dropping the missing values and data labeling by taking into account expert reports. The threshold value for the correlation analysis was 0,6 in the study. The data set can also be accessed from the link below. In our study, there are 5041 cars from 34 different brands. There are also 78 variables that can affect the price in the data set.

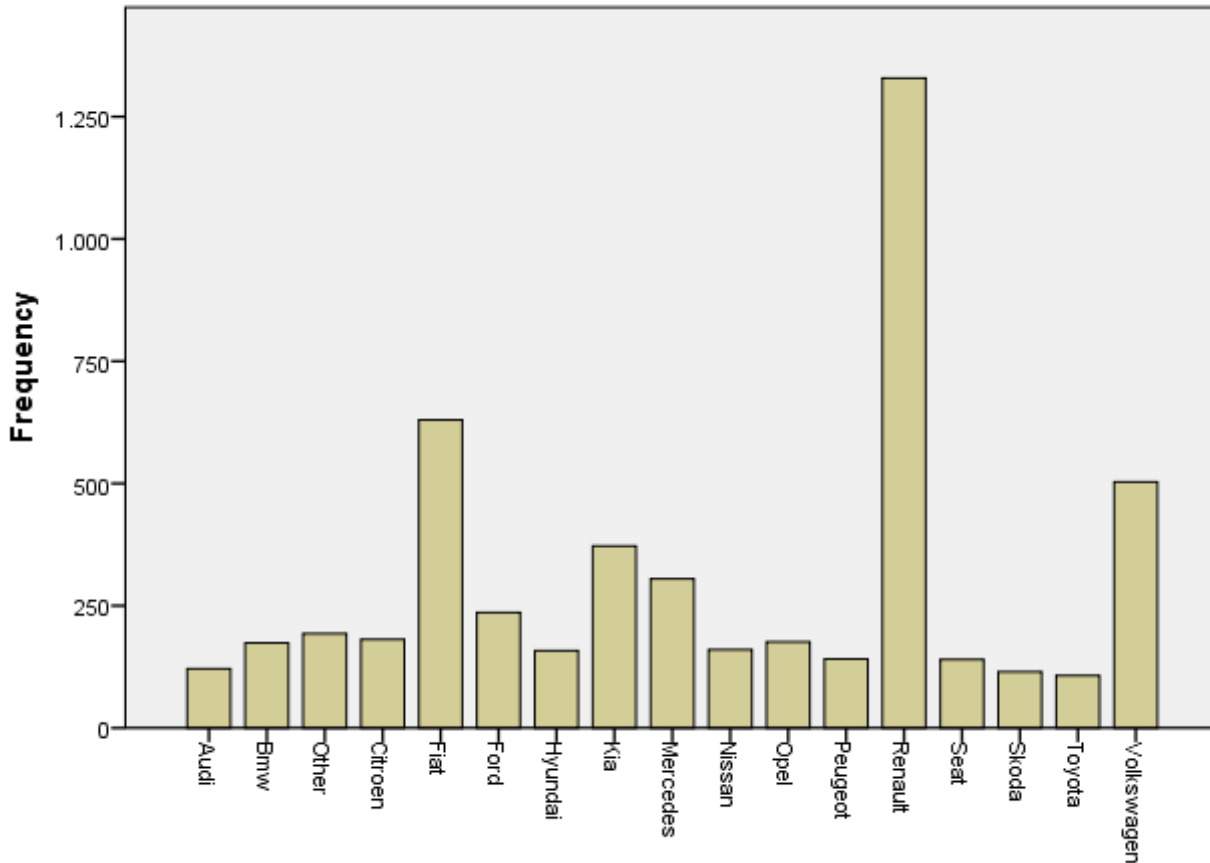


Figure 1. Frequency Distribution by Brand Variable

Table 1. Frequency Distribution and Percent by Brand Variable

BRAND	Frequency	Percent	Valid Percent
Audi	121	2,4	2,4
Bmw	174	3,5	3,5
Other	193	3,8	3,8
Citroen	181	3,6	3,6
Fiat	630	12,5	12,5
Ford	236	4,7	4,7
Hyundai	158	3,1	3,1
Kia	372	7,4	7,4
Mercedes	305	6,1	6,1
Nissan	160	3,2	3,2
Opel	176	3,5	3,5
Peugeot	141	2,8	2,8
Renault	1329	26,4	26,4
Seat	140	2,8	2,8
Skoda	115	2,3	2,3
Toyota	107	2,1	2,1
Volkswagen	503	10,0	10,0
Total	5041	100,0	100,0

Statistical analyzes were evaluated using the IBM Statistical Package for Social Sciences 22.0 (SPSS, Chicago, IL) program. In the analysis of the data set, Normality Test, Correlation Analysis and Linear Regression Analysis were applied. Statistical significance level was taken as $p < 0.05$.

Data set link: <https://github.com/MatBilML/second-hand-vehicle-dataset>

3. Research Findings and Discussions

In the study, the variables having significant effects on the price of the second hand car were determined. A prediction model was established with these variables. The coefficient of determination (R^2) of this model was calculated as 89.1%. The variables included in the estimation model are Brand, Model, Model Year, Fuel Type, Horse Power, Kilometer, Manual Air Conditioning, Fog Lights, Seat Air Cushion, Leather Steering Wheel, Wheel Rim, Automatic Air Conditioning, Start Stop, Rain Sensor, Sunroof, Electric Folding Mirrors, Xenon Headlight, Knee Airbag, Upholstery Leather, Memory Seat, 4X4, Parking Assistant, Vacuum Door. The results of the estimation tests conducted with the model are given in Table 2 below.

Table 2. Accuracy Rates of Prediction Model for Linear Regression Algorithm

Proximity Rate	Accuracy Rate		
	%70-30 Train-Test	%80-20 Train-Test	Average
±%0 (full proximity)	73/1044=0,070	42/696=0,060	%6,61
±%5 (%95-105)	589/1044=0,564	402/696=0,578	%56,95
±%10 (%90-110)	846/1044=0,810	566/696=0,813	%81,15
±%15 (%85-115)	961/1044=0,921	647/696=0,930	%92,41
±%20 (%80-120)	999/1044=0,957	671/696=0,963	%95,98
±%25 (%75-125)	1019/1044=0,976	680/696=0,977	%97,64

4. Results

Dastan 2016 in his work by establishing 3 different hedonic model has made the price estimate. The R^2 values of these models were calculated between 0.71 and 0.92. He established the estimation models in his study using 42 variables and 1000 vehicle data [16]. Asilkan et al. tried to estimate the price of second-hand vehicles in Turkey by using artificial neural networks in 2009 in his study. They also reported that artificial neural networks can be used to estimate second-hand vehicle prices by comparing results of artificial neural networks with the results of time series analysis from the conventional statistical methods [2]. In 2014, Pudaruth set up a model to estimate the prices of used cars in Mauritius (an island country in Africa) using machine learning techniques. He used more than 400 vehicle data in his study. In the study he achieved an accuracy rate of 61% [27]. In 2017, Ozcalici estimated second-hand car sales prices with decision trees and genetic algorithms. In the study, he used 252645 vehicle data and 139 variables and achieved a success rate of approximately 66% [28]. Pal et al. (2018) used Random Forest, a controlled learning method to estimate the price of used cars. A Random Forest with 500 Decision Trees was created to train the data. From the test results, it was found that the accuracy of the training was 95.82% and the test accuracy was 83.63%. The model was able to accurately estimate the price of the cars by choosing the most suitable features [17]. Noor and Jan (2017) offer a vehicle price forecasting system using the supervised machine learning technique in their articles. The research uses multiple linear regression as a machine learning estimation method that provides 98% prediction precision. Using multiple linear regression, there are multiple independent variables, but there are one and only one dependent variable compared to the actual and predicted values to find the precision of the results. This article proposes a system for which the price is predicted to be the predicted variable, and this price is derived from factors such as vehicle model, brand, city, version, color, mileage, alloy wheels and power steering [18].

The proximity rate in Table 2 shows closeness intensity of the estimation results to the true results ($\pm\%$). Via the prediction model established as a result of machine learning, the estimated results rate between the upper (%110) and lower (%90) limits ($\pm\%10$) of the true results was found to be 81,15%. According to these results, it is seen that it is appropriate to use machine learning technique in estimating second hand car prices. But with more sampling sets, better estimates can be made.

As a result, factors that may affect automobile prices may vary from country to country and from region to region. In addition, the results obtained in the studies are limited to the data obtained during the examination periods, the variables used and the analysis methods. The use of different periods, variables and methods may lead to differentiation of the analysis results.

References

1. Onat, M. G. (2007). Otomotiv Sektöründe Oranlar Yöntemi Aracılığı ile Finansal Analiz.
2. Asilkan, O., & Irmak, A. G. S. (2009). İkinci el otomobillerin gelecekteki fiyatlarının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14(2).
3. WEB-ACEA, Association Des Constructeurs Européens D'automobiles, Economic Report, Acea's Position On Motor Car Distribution in The European Union, 2001, www.acea.be, (15/09/2007)
4. Lee, J. (2006). Empirical analysis of wholesale used car auctions. ProQuest.
5. DATAMONITOR, "Used Cars in Europe", Industry Profile, Reference Code: 0201-0750, December 2007.
6. Genesove, D. (1993), "Adverse Selection in the Wholesale Used Car Market", Journal of Political Economy, 101(4), 644-665.
7. Murray, J. & Sarantis, N. (1999). Price-quality relations and hedonic price indexes for cars in the United Kingdom. International Journal of the Economics of Business, 6(1), 5-27.
8. Pazarlıoğlu, M. V. & Gunes, M. (2000), "The Hedonic Price Model for Fusion on Car Market", International Conference of of Information Fusion, Paris, France, 4-13, <http://ieeexplore.ieee.org/document/862707/>, (Access: 20.08.2016).
9. Andersson, Henrik (2005), "The Value of Safety as Revealed in the Swedish Car Market: An Application of the Hedonic Pricing Approach", Journal of Risk and Uncertainty, 30(3), 211-239.
10. Alper, C. E. & Mumcu, A. (2007), "Interaction between Price, Quality and Country of Origin When Estimating Automobile Demand: The Case of Turkey", Applied Economics, 39, 1789-1796.

11. Cumhur. E. & Senturk, I. (2009), "A Hedonic Analysis of Used Car Prices in Turkey", *International Journal of Economic Perspectives*, 3(2), 141-149.
12. Matas, A. & Raymond, J. L. (2009), "Hedonic Prices for Cars: An Application to the Spanish Car Market, 1981- 2005", *Applied Economics*, 41, 2887-2904.
13. Ecer, F. (2013), "Türkiye’de 2. El Otomobil Fiyatının Tahmini ve Fiyat Belirleyicilerinin Tahmini", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(4), 101-112.
14. Galarraga, I., Ana R., Josu L. & Xavier L. (2014), "The Price of Energy Efficiency in the Spanish Car Market", *Transport Policy*, 36 (2014), 272–282.
15. Prieto, M., Barbara C. & George B. (2015), "Using a Hedonic Price Model to Test Prospect Theory Assertions: The Asymmetrical and Nonlinear Effect of Reliability on Used Car Prices", *Journal of Retailing and Consumer Services*, 22 (2015), 206–212.
16. Dastan, H. (2016), "Türkiye’de İkinci El Otomobil Fiyatlarını Etkileyen Faktörlerin Hedonik Fiyat Modeli ile Belirlenmesi", *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(1), 303-327.
17. Pal, N., Arora, P., Kohli, P., Sundararaman, D., & Palakurthy, S. S. (2018, April). How Much Is My Car Worth? A Methodology for Predicting Used Cars’ Prices Using Random Forest. In *Future of Information and Communication Conference* (pp. 413-422). Springer, Cham.
18. Noor, K., & Jan, S. (2017). Vehicle price prediction system using machine learning techniques. *International Journal of Computer Applications*, 167(9), 27-31.
19. Sirmacek, B. (2007). FPGA ile mobil robot için öğrenme algoritması modellenmesi (Doctoral dissertation).
20. Altunisik, R. (2015). Büyük Veri: Fırsatlar Kaynağı mı Yoksa Yeni Sorunlar Yumağı mı?. *Yıldız Social Science Review*, 1(1).
21. Gor, I. (2014). Vektör nicemleme için geometrik bir öğrenme algoritmasının tasarımı ve uygulaması (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi).
22. Turkmenglu, C. (2016). Türkçe Metinlerde Duygu Analizi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
23. David A. F. (2009). *Statistical Models: Theory and Practice*. Cambridge University Press. p. 26. A simple regression equation has on the right hand side an intercept and an explanatory variable with a slope coefficient. A multiple regression equation has two or more explanatory variables on the right hand side, each with its own slope coefficient
24. Rencher, A. C., Christensen, W. F. (2012), "Chapter 10, Multivariate regression – Section 10.1, Introduction", *Methods of Multivariate Analysis, Wiley Series in Probability and Statistics*, 709 (3rd ed.), John Wiley & Sons, p. 19, ISBN 9781118391679.
25. Hilary L. S. (1967). "The historical development of the Gauss linear model". *Biometrika*. 54 (1/2): 1–24. doi:10.1093/biomet/54.1-2.1. JSTOR 2333849.
26. Yan, X. (2009), *Linear Regression Analysis: Theory and Computing*, World Scientific, pp. 1–2, ISBN 9789812834119.
27. Pudaruth, S. (2014). Predicting the price of used cars using machine learning techniques. *Int. J. Inf. Comput. Technol*, 4(7), 753-764.
28. Ozcalici, M. (2017). Predicting Second-Hand Car Sales Price Using Decision Trees and Genetic Algorithms. *Alphanumeric Journal*, 5(1), 103-114.



Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometrisi ile Sudaki Pestisit Kalıntılarının Eşzamanlı Olarak Belirlenmesi için Çoklu Kalıntı Metodu Geliştirilmesi

Bahar A. Bayrak^{1*}

¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000 0003 1503 2841)

(İlk Geliş Tarihi 12 Temmuz 2018 ve Kabul Tarihi 1 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.443014)

ATIF/REFERENCE: Bayrak, B. A. (2019). Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometrisi ile Sudaki Pestisit Kalıntılarının Eşzamanlı Olarak Belirlenmesi için Çoklu Kalıntı Metodu Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 84-91.

Öz

Sıvı-sıvı ekstraksiyonu (LLE) ve ardından gaz kromatografisi kütle spektrometrisi (GC/MS) ile pestisitlerin tayini için çoklu kalıntı yöntemi geliştirildi.

Yöntem; her bir pestisit için nicel tayin sınırı (LOQ) ve belirtme alt sınırı (LOD), doğrusallık ve doğruluk parametrelerine göre değerlendirildi. GC/MS için, LOD değerleri 1.27 µg/L ile 4.24 µg/L arasında ve LOQ değerleri 4.23 µg/L ile 14.15 µg/L arasında elde edildi. Geri kazanım değeri, yüksek konsantrasyon için % 96 elde edilirken düşük konsantrasyonlarda % 92 olarak bulundu. Tekrarlanabilirlik (simazin hariç) 3.81 ila 14.40 arasında değişirken, yeniden üretilebilirlik (RSD%) 5.81 ila 17.32 arasında değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pestisitler, Metot validasyonu, GC/MS.

Development of a Multiresidue Methods for The Simultaneous Determination of Pesticide Residues in Water by GC/Mass Spectrometry

Abstract

A Multi-residue methods were developed for the determination of pesticides by liquid-liquid extraction (LLE) and followed by gas chromatography mass spectrometry (GC/Mass).

The method was evaluated with respect to the limit of detection and quantification, linearity and accuracy. For GC/MS, LODs were between 1.27 µg/L and 4.24 µg/L and LOQs were between 4.23 µg/L and 14.15 µg/L. Recoveries were obtained over 96% in high concentration and 92% in low concentration. Repeatabilities were varied from 3.81 to 14.40 (except for simazine) and reproducibilities (RSD%) were varied from 5.81 to 17.32.

Keywords: Pesticides, Method validation, GC/MS.

¹ Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye Tel: 04422314518, Faks:04422314910, ORCID: 0000 0003 1503 2841, batabek@atauni.edu.tr

1.Giriş

Pestisitler; kemirgenler, böcekler, mantarlar ve yabancı otlar gibi zararlıları öldürmek veya kontrol etmek için kullanılan kimyasal ya da biyolojik ürünlerdir (Domotorova ve Matisova, 2008). Bu ürünler, zararlıları yok ederken aynı zamanda su ve toprağa karışarak canlılar için ciddi riskler oluşturmaktadır. Pestisitlerin canlı vücuduna zararlı etkileri sonucu, akut anemi, kemik yapısı bozuklukları, teratojenik ve embriyolojik hastalıklar oluşmaktadır. Bunun yanı sıra vücuttaki sinir sistemi, endokrin sistemi gibi sistemlerde doğrudan etkilenmektedir (Castilho vd., 2000). Maruz kalınan doza bağlı olarak ölüme kadar varan sonuçlar görülmektedir. Ayrıca pestisitlerin yarılanma ömürleri uzun olabildiğinden canlı organizmalar üzerinde uzun vadede etkileri devam etmektedir. Bunun sonucu olarak, pestisitlere direnç geliştiren yeni zararlılar ortaya çıkmakta ve bu zararlıların oluşturduğu farklı etkileri yok edebilmek için daha fazla pestisit kullanılması veya yeni tarım ilaçlarının geliştirilmesi söz konusu olmaktadır (Costa vd., 2008). Bu döngü nedeniyle ekosistem içerisinde pestisit kullanımı her geçen gün artmaktadır. Özellikle tarımda yoğun olarak kullanılan pestisitler sulama sonucu yeraltı suları ve yüzey sularına kolayca karışmaktadır (Komatsu ve Vaz, 2004). Pestisitler kendi aralarında organoklorlu ve organofosforlu pestisitler, herbisitler, fungusitler gibi sınıflara ayrılmaktadır. Bunların içerisinde en çok kullanılan organoklorlu ve organofosforlu pestisitlerdir. Son yıllarda, organofosforlu pestisitlerin bozunma hızları organoklorlu pestisitlere kıyasla daha hızlı olduğundan tarım alanlarında kullanımı yaygınlaşmıştır (Beltran vd., 1998; Driss vd., 1993). Pestisitlerin yoğun bir şekilde kullanılması nedeniyle toprak ve suda kirliliğin sürekli artması, pestisitlerin varlığını tespit etmek için etkili analitik yöntemlerin geliştirilmesine ve bu yöntemlerle kalıntıların düzeyinin sürekli takip edilmesi gerekliliğine yol açmıştır (de Souza Pinheiro ve de Andrade, 2009; Park vd., 2011). Bununla birlikte, yeni geliştirilen yöntemlerin çevreye daha duyarlı, daha hızlı, düşük dedeksiyon limitine sahip ve seçici olması gereklidir.

Pestisitlerin belirlenmesi için genellikle karmaşık kromatografik cihazlar kullanılmaktadır. Ancak sudan pestisiti ayırıp diğer girişim yapabilecek maddeleri uzaklaştırmak ve daha hassas sonuçlar elde edebilmek için öncesinde bir ekstraksiyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır (Beltran vd., 1998). Pestisitlerin ekstrakte edilerek sudan uzaklaştırılması ve daha yoğun hale getirilmesi için; sıvı-sıvı ekstraksiyonu, katı faz ekstraksiyonu, katı fazlı mikro ekstraksiyon, süperkritik sıvı özütleme, matris katı faz dağılımı ve hızlandırılmış çözücü özütleme gibi birkaç önemli teknik vardır (Jin vd., 2012).

Pestisitler çoğunlukla, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC), sıvı kromatografisi (LC/MS) veya gaz kromatografisi (GC) gibi farklı kromatografik teknikler yardımıyla tayin edilmektedir (Dorea vd., 1996; Piedra vd., 2000; Rocha vd., 2012).

Gaz kromatografisi, genellikle farklı dedektörler yardımıyla birçok maddenin tespiti için geniş bir kullanım alanına sahiptir. Organofosforlu bileşikler, gaz kromatografisi/azot fosfor dedektör (GC-NPD) ve gaz kromatografisi/kütle spektrometresi (GC/MS) yardımıyla daha yüksek hassasiyetle tespit etmek mümkündür. Organoklorlu pestisitler, pyrethroidler ve imidazol kompleksleri; gaz kromatografisi/elektron yakalama dedektörü (GC-ECD) ile mükemmel hassasiyette tespit edilmektedir. Organofosforlu ve organoklorlu pestisitler aynı anda gaz kromatografisi/kütle spektrometresi (GC/MS) ile tespit edilebilmektedir (Menezes Filho vd., 2010).

Yeni geliştirilen yöntem; kalıntıların tanımlanmasını ve çok düşük konsantrasyon seviyelerinde dahi miktarın doğru bir şekilde tespitini sağlamalıdır (Vidal vd., 2006). Pestisit kalıntı analiz metodu esas itibarıyla güvenilir, verimli, sağlam ve basit olmalıdır. Metodolojinin geçerliliği, analitik verileri teyit ettiği için son derece önemlidir (Suman ve Singh, 2011).

Bu çalışmanın amacı, suyu kirleten pestisitleri GC/MS ile belirlemek için basit (etkin, hızlı) ve verimli çoklu kalıntı yöntemi geliştirmektir. Laboratuvar ortamına uygunluğunu belirlemek için, yöntemin validasyonunun doğruluk, tekrarlanabilirlik, tekrar üretilirlik, geri kazanım, LOQ ve LOD parametrelerine göre gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kimyasallar

Aseton içinde 1000 ng/µL'lik klorpirifos metil, klorpirifos etil, metamidofos, simazin içeren pestisit standartları; Dr. Ehrenstorfer GmbH firmasından satın alındı. Aseton/hekzan içinde 1000 µg/mL'lik olan diğer pestisit standartları (diazinon, etion, disülfoton, malatyon, paratyon metil, paratyon etil) AccuStandard M614'den satın alınmış ve -10°C'de dondurucuda muhafaza edilmiştir. Gaz kromatografisine uygun üretilen diklorometan, aseton ve sodyum sülfat, Merck'ten temin edildi.

Asetonda çözülmüş ve herbiri 100 µg/L pestisit içeren stok çözeltilerden, 10 tane pestisiti ihtiva eden ve konsantrasyonları 2.5-25 µg/L arasında değişen 4 farklı çözelti saf su içine ilave edilerek hazırlandı.

2.2. Cihazlar

Turbovap evaporator sistemi, ekstraksiyon işlemi gerçekleştirildikten sonra, buharlaştırma amacıyla kullanılmıştır.

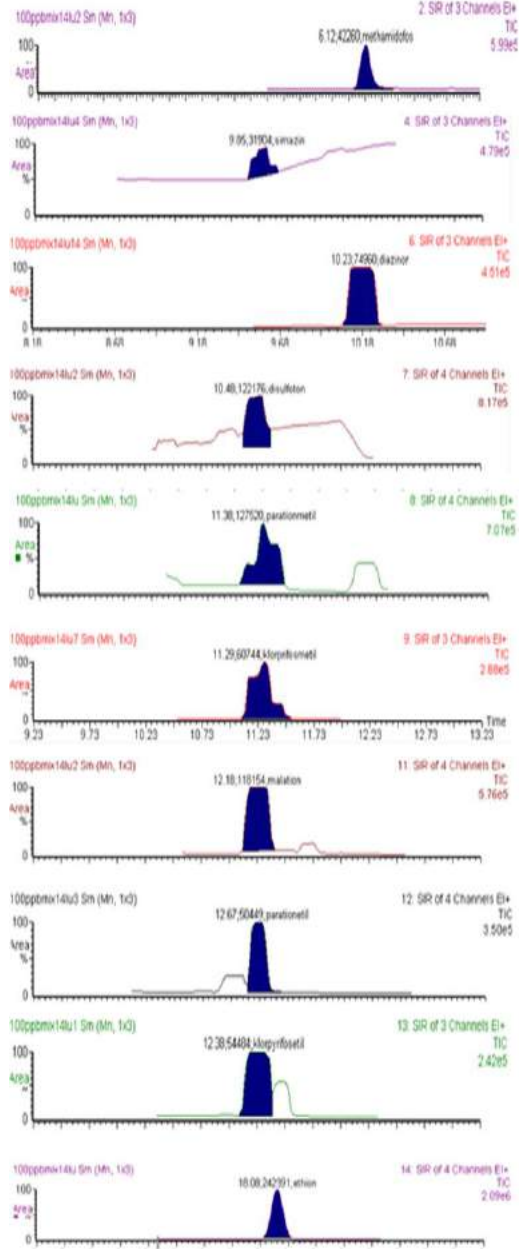
Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC/MS) çalışmaları için, Perkin Elmer marka kütle spektrometresi ile birleştirilmiş Perkin Elmer tipi Clarus 500 gaz kromatografisi kullanılmıştır. Pestisitlerin ayrılması, 30m elit-5MS silika kılcal kolon (0.25mm i.d. ve 0.25µm film kalınlık) ile gerçekleştirildi. Pestisitler, kütle spektrometresi hem 2-1200 m/z aralığında hem de zamanı önceden belirlenmiş seçilmiş iyon görüntüleme (SIR) ile tarandı. Geliştirilen yöntemle tüm pestisitlerin görüntülenmesi için, tüm moleküler iyon kütleleri belirlenerek Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca cihaz, standart bileşikler için binlerce kütle spektrumu kapsayan bir NIST kütüphanesi de içermektedir.

Tablo 1. Belirli pestisitler için kalma süresi ve kütle iyonları

	Alıkonma süresi	Kütle iyonu
metamidofos	6.12	47, 94, 95
simazin	9.76	44, 186, 201
diazinon	10.21	179, 137, 152
disülfoton	10.46	88, 89, 29, 97
klorpirifos metil	11.23	286, 125, 288
paratyon metil	11.38	109, 263, 125, 79
malatyon	12.44	125, 173, 93, 127
klorpirifos etil	12.51	97, 197, 199, 29
paratyon etil	12.64	291, 109, 97, 139
etion	18.10	231, 97, 153, 125

2.3. Metotlar

Sıvı-sıvı ekstraksiyonu için, organofosforlu bileşik içeren bir litre su numunesi alınarak 2 L'lik bir ayırma hunisine aktarıldı, karıştırıldı ve oda sıcaklığında dengeye gelmesi için bekletildi. Numuneler, üç kere 100 ml'lik diklorometan (DCM) ilave edilerek ekstrakte edildi. Ayırma hunisindeki aşırı basınç tahliye etmek için yaklaşık dört dakikada bir periyodik havalandırma yapılarak çalkalandı. Her diklorometan ilavesinde organik katmanın 10 dakika süreyle ayrılmasına izin verildi ve bu katmanlar bir erlende toplandı. Birleştirilen ekstrakt, bir susuz sodyum sülfat kolonu vasıtasıyla süzüldü ve 35°C'ye ayarlanmış Turbovap evaporatör kullanılarak azot akımı altında kuruyana kadar buharlaştırıldı. Kalıntı, 1ml aseton ile çözüldürüldü. 3 mikrolitrelik çözünmüş kalıntı split 50 modunda GC/MS içine enjekte edildi ve SIR modunda elde edilen kromatogramları Şekil 1'de verilmiştir. Taşıyıcı gaz olarak 1mL/dak'lık bir akış hızında % 99.999 helyum kullanılmıştır. İlk enjektör sıcaklığı 60 oC'ye ayarlandı ve 0,5 dakika tutuldu. 999 oC/dk hızla 320 oC'ye çıkarıldı ve 10 dakika bekletildi ve 999 oC/dakika hızla sıcaklık azaltılarak 60 oC'ye düşürüldü. Numuneler, aşağıdaki sıcaklık programı kullanılarak analiz edilmiştir: başlangıç sıcaklığı 73°C'de 1 dakika tutulmuştur, 20oC/dk hızla 210°C'ye arttırılmış ve 1 dakika bekletilmiştir, 2oC/dk ile 240 oC'ye yükseltilmiş ve 1 dakika bekletilmiştir ve son olarak 20oC/dk ile 280oC'ye yükseltilerek 5 dakika boyunca bekletilmiştir. Mass, tam tarama modunda (seçilen iyon görüntüleme modu) ve 29-300 kütle iyonu aralığında çalıştırıldı. İyonizasyon flamentinin emisyon akımı 70eV enerjiye ve 100uA üreten elektrona ayarlandı.



Şekil 1. GC/MS için SIR modu kullanılarak elde edilen kromatogramlar

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Metodun performans özellikleri; standart çözeltiler, pestisit içermeyen numuneler ve pestisit enjekte edilen örnekler yardımıyla belirlenmiştir. Doğrulama çalışmaları, belli konsantrasyonlarda suya eklenen pestisitlerin ekstrakte edilmesi ile elde edilen örnekler yardımıyla gerçekleştirildi.

3.1. Doğrusallık

Kalibrasyon eğrileri, her bir pestisit için analit konsantrasyonuna karşı cihazın verdiği yanıtlar çizilerek hazırlandı. Kalibrasyon eğrileri on pestisit için 6 farklı kalibrasyon seviyesinde (2.5, 5, 10, 25, 50 ve 100 µg/L) çizildi. Elde edilen korelasyon katsayıları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışılan pestisitler için doğrusallıkta elde edilen korelasyon değerleri

	Alınma süresi	R(Korelasyon katsayısı)
Metamidofos	6.12	0,998
Simazin	9.76	0,996
Diazinon	10.21	0,987
Disulfoton	10.46	0,986
Klorpirifos metil	11.23	0,990
Paratyon metil	11.38	0,986
Malation	12.44	0,977
Klorpirifos etil	12.51	0,992
Paratyon etil	12.64	0,987
Etion	18.10	0,973

3.2. Doğruluk

Doğruluk "Gerçeklik" (Geri kazanım) ve "Kesinlik" (tekrarlanabilirlik ve tekrarüretilebilirlik) olarak iki bileşenle ifade edilir:

Tekrarlanabilirlik çalışması için tek konsantrasyonda (10µg/L) ve aynı günde altı analiz (6x2 = 12) yapılmıştır ve sonuçlar tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Tekrarlanabilirlik; 10µg/L'de analiz edilen pestisitlerin ortalama, SD, RSD, r değerleri

	Tekrar Sayısı	Ortalama	SD	RSD	%RSD	r
metamidofos	1	9.55	0.98	0.10	10.32	2.79
	2	9.29	0.94	0.10	10.14	2.67
simazin	1	8.63	1.94	0.22	22.44	5.48
	2	8.67	1.86	0.21	21.43	5.26
diazinon	1	10.48	0.68	0.06	6.48	1.92
	2	10.44	0.94	0.09	9.01	2.66
disulfoton	1	11.49	0.44	0.03	3.81	1.24
	2	11.46	0.84	0.07	7.34	2.38
klorpirifos metil	1	12.08	1.43	0.11	11.88	4.06
	2	12.19	1.44	0.11	11.80	4.07
paratyon metil	1	9.56	0.84	0.08	8.76	2.37
	2	9.27	1.34	0.14	14.40	3.78
malation	1	9.49	0.49	0.05	5.12	1.38
	2	9.42	1.08	0.11	11.49	3.06
klorpirifos etil	1	9.64	0.95	0.09	9.88	2.69
	2	9.73	1.34	0.13	13.75	3.78
paratyon etil	1	10.05	0.80	0.08	8.01	2.28
	2	9.88	0.41	0.04	4.13	1.16
etion	1	10.64	1.12	0.10	10.52	3.17
	2	10.76	1.36	0.12	12.61	3.84

Tekrarüretilebilirlik için; 25µg/L konsantrasyona sahip dokuz (9x2 = 18) farklı örneğin analizleri, 3 farklı günde gerçekleştirildi (Tablo 4).

Tablo 4. Tekrarüretilebilirlik; 25µg/L konsantrasyonuna sahip (yalnızca klorpirifos metil için 100µg/L) pestisitlerin ortalama, SD, RSD, RSDr değerleri

	Tekrar Sayısı	Ortalama	SD	RSD	%RSD	$[(a_i - b_i)/\bar{x}_i]^2$	RSDr	%RSDr	R
metamidofos	a	26.16	4.16	0.15	15.91	0.54	0.17	17.32	11.66
	b	23.91	4.00	0.16	16.74				
simazin	a	23.94	2.11	0.08	8.83	0.31	0.13	13.01	5.92
	b	22.56	2.98	0.13	13.23				
diazinon	a	23.15	2.18	0.09	9.41	0.42	0.15	15.24	6.09
	b	25.20	4.59	0.18	18.21				
disulfoton	a	25.12	2.02	0.08	8.03	0.13	0.08	8.51	5.65
	b	24.48	1.78	0.07	7.28				
klorpirifos metil	a	97.04	5.33	0.05	5.49	0.06	0.06	5.81	14.91
	b	99.52	4.93	0.04	4.95				
paratiyon metil	a	25.37	3.12	0.12	12.28	0.15	0.09	9.26	8.72
	b	24.27	3.09	0.12	12.73				
malation	a	24.39	1.87	0.07	7.68	0.09	0.07	7.36	5.25
	b	26.03	1.22	0.04	4.67				
klorpirifos etil	a	27.62	2.96	0.10	10.73	0.46	0.16	16.05	8.29
	b	24.99	3.48	0.13	13.95				
paratiyon etil	a	24.99	3.63	0.14	14.54	0.18	0.10	10.02	10.17
	b	24.15	3.39	0.14	14.07				
etion	a	23.75	3.58	0.15	15.09	0.41	0.15	15.11	10.03
	b	25.30	3.69	0.14	14.57				

Tekrar üretilebilirlik relatif standart sapma (RSDr), Tekrarüretilebilirlik (R) ve Tekrarlanabilirlik (r) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$RSD_r = \sqrt{\frac{\sum[(a_i - b_i)/\bar{x}_i]^2}{2n}} \quad (1)$$

$$r = \text{Standard Deviation (SD)} * 2.83 \quad (2)$$

$$R = \text{SD} * 2.8 \quad (3)$$

Gerçeklik, iki konsantrasyon seviyesi için suya eklenen 10 tane pestisitın geri kazanım yüzdesi ile belirlenmiştir ve sudaki pestisit kalıntıları için, ortalama %geri kazanım, standart sapma(SD) ve relatif standart sapma(RSD%) Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. İki farklı konsantrasyon seviyesinde zenginleştirilmiş numuneler için ortalama geri kazanımlar, SD ve RSD değerleri

	Konsantras-yon (µg/L)	Ortalama geri kazanım (%)	SD	RSD	RSD (%)
metamidofos	2.5	96.80	7.07	0.07	7.31
	50	99.28	2.62	0.02	2.64
simazin	2.5	102.33	9.48	0.09	9.27
	50	100.28	4.03	0.04	4.02
diazinon	2.5	113.07	9.55	0.08	8.45
	50	96.53	6.64	0.06	6.88
disulfoton	2.5	102.47	7.09	0.06	6.93
	50	97.24	4.48	0.04	4.61
Klorpirifos metil	2.5	92.60	5.68	0.06	6.14
	50	97.06	7.38	0.07	7.60
paratiyon metil	2.5	106.27	12.0	0.11	11.3

		5	4		
malatyon	50	100.25	4.67	0.04	4.66
	2.5	94.13	13.9	0.14	14.8
klorpirifos etil	50	101.48	2.80	0.02	2.76
	2.5	100.33	2.77	0.02	2.76
paratyon etil	50	99.69	6.61	0.06	6.63
	2.5	99.07	6.09	0.06	6.15
etion	50	99.54	13.0	0.13	13.1
	2.5	97.20	3.43	0.03	3.53
	50	97.51	4.79	0.04	4.91

3.3. Nicel tayin sınırı (LOQ) ve belirtme alt sınırı (LOD)

5 µg/Lkonsantrasyona sahip her bir pestisitın standart sapmaları belirlenerek LOD ve LOQ değerleri belirlenmiştir. LOD ve LOQ değerleri sırasıyla standart sapmanın 3 ve 10 katı kullanılarak elde edildi.

Tablo 6. LOD, LOQ, Mean, SD, RSD values at 5µg/L for GC/MS.

	Ortalama	SD	RSD	%RSD	LOD	LOQ
Metamidofos	5.26	0.81	0.15	15.37	2.42	8.08
Simazin	5.03	0.90	0.18	17.89	2.69	8.99
Diazinon	5.33	0.73	0.14	13.65	2.19	7.28
Disulfoton	5.82	1.06	0.18	18.14	3.17	10.55
Klorpirifos metil	5.69	1.42	0.25	24.85	4.24	14.15
Paratyon metil	5.44	0.63	0.12	11.62	1.89	6.32
Malation	5.46	0.65	0.12	11.85	1.94	6.47
Klorpirifos etil	5.00	0.42	0.08	8.46	1.27	4.23
Paratyon etil	5.12	0.84	0.16	16.31	2.50	8.35
Etion	5.19	0.43	0.08	8.28	1.29	4.29

4. Sonuç

Doğrusallık sonuçlarına göre, korelasyon katsayılarının (R) büyük çoğunluğu 0,973'e eşit veya daha yüksek bulunmuştur(Tablo 2). RSD%, tekrarlanabilirlik için %5'den küçük ve tekrarüretilebilirlik için % 12 den küçük bulunmuştur. (Tablo 3 ve 4). Test edilen pestisitlerin çoğunun geri kazanım değerleri, yüksek konsantrasyonlarda çalışıldığında % 96, düşük konsantrasyonlarda çalışıldığında %92'nin üzerinde elde edilmiştir. Ortalama geri kazanımların hiçbiri % 106'yı geçmemiştir. Uluslararası yönergeler, kantitatif metodların validasyonunda ortalama geri kazanımının %70-110 aralığında olması gerektiğini göstermektedir (Commission, 2013). Sonuçların bu yönelere uygun olduğu görülmüştür. Yüksek geri kazanımlar, 50 µg/L'lık en yüksek konsantrasyon seviyesinde gözlenmiştir. Geri kazanımlardaki değişkenlik LOQ'ya yakın konsantrasyonlara yaklaştıkça daha yüksek olmaktadır. LOD ve LOQ değerleri sırasıyla 1.269 µg/L ile 4.244 µg/L ve 4.231 µg/L ile 14.145 µg/L arasında değişmektedir (Tablo 6).

Bu çalışmada, su numunelerinde tek bir enjeksiyonla 10 pestisit kalıntısının analizi için yeni ve çoklu kalıntı yöntemi geliştirildi. GC/MS ile analiz, yaklaşık 18 dakikada gerçekleştirildi. Altı hücreye sahip Turbowap evaporatör sistemi ile aynı anda 6 numunenin uçurulması sağlanarak analizin toplam süresi azaltıldı. Bu durum yüksek numune sayısının olduğu rutin analizlerde gereklidir. Geliştirilen yöntem yüksek numune sayısı için elverişlidir ve düşük maliyete sahiptir.

Teşekkür

Yazar, Erzurum Halk Sağlığı Kurumu'na, yardımlarından dolayı teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- Beltran, J., Lopez, F. J., Cepria, O., Hernandez, F. 1998. Solid-phase microextraction for quantitative analysis of organophosphorus pesticides in environmental water samples. *Journal of Chromatography A*, 808(1-2), 257-263.
- Castilho, J. A. A., Fenzl, N., Guillen, S. M., Nascimento, F. S. 2000. Organochlorine and organophosphorus pesticide residues in the Atoya river basin, Chinandega, Nicaragua. *Environmental Pollution*, 110(3), 523-533.
- Commission, E. (2013). Method validation and quality control procedures for pesticides residues analysis in food and feed. (Type No. Report Number).
- Costa, L. L., Santana, E. S., Suchara, E. A., Benato, V. S., Carasek, E. 2008. Determinação de herbicidas usados no cultivo de arroz irrigado na região sul do estado de Santa Catarina através da SPME-GC-ECD. *Química Nova*, 31(1), 79.
- de Souza Pinheiro, A., de Andrade, J. B. 2009. Development, validation and application of a SDME/GC-FID methodology for the multiresidue determination of organophosphate and pyrethroid pesticides in water. *Talanta*, 79(5), 1354-1359.
- Domotorova, M., Matisova, E. 2008. Fast gas chromatography for pesticide residues analysis. *Journal of Chromatography A*, 1207(1-2), 1-16.
- Dorea, H. S., Tadeo, J. L., Sanchez Brunete, C. 1996. Determination of organophosphorus pesticide residues in fruits by gas chromatography with ITD and NPD detection. *Chromatographia*, 43(7-8), 380-386.
- Driss, M., Hennion, M.-C., Bouguerraca, M. 1993. Determination of carbaryl and some organophosphorus pesticides in drinking water using on-line liquid chromatographic preconcentration techniques. *Journal of Chromatography A*, 639(2), 352-358.
- Jin, B. H., Xie, L. Q., Guo, Y. F., Pang, G. F. 2012. Multi-residue detection of pesticides in juice and fruit wine: A review of extraction and detection methods. *Food Research International*, 46(1), 399-409.
- Komatsu, E., Vaz, J. M. 2004. Otimização dos parâmetros de extração para determinação multiresíduo de pesticidas em amostras de água empregando microextração em fase sólida. *Química Nova*, 27(5), 720-724.
- Menezes Filho, A., dos Santos, F. N., Pereira, P. A. d. P. 2010. Development, validation and application of a method based on DI-SPME and GC-MS for determination of pesticides of different chemical groups in surface and groundwater samples. *Microchemical Journal*, 96(1), 139-145.
- Park, J. H., Iqbal Rouf Mamun, M., Abd El-Aty, A., Na, T. W., Choi, J. H., Ghafar, M., Kim, K. S., Kim, S. D., Shim, J. H. 2011. Development and validation of a multiresidue method for determination of 37 pesticides in soil using GC-NPD. *Biomedical Chromatography*, 25(9), 1003-1009.
- Piedra, L., Tejedor, A., Hernando, M. D., Agüera, A., Barcelo, D., Fernandez-Alba, A. 2000. Screening of antifouling pesticides in sea water samples at low ppt levels by GC-MS and LC-MS. *Chromatographia*, 52(9-10), 631-638.
- Rocha, M. J., Ribeiro, M. F., Cruzeiro, C., Figueiredo, F., Rocha, E. 2012. Development and validation of a GC-MS method for determination of 39 common pesticides in estuarine water—targeting hazardous amounts in the Douro River estuary. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 92(14), 1587-1608.
- Suman, P., Singh, D. K. 2011. Estimating the uncertainty of pesticide residue analysis from mango using multi-residue analysis and validation of method. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 93(10), 1880-1896.
- Vidal, J. L. M., Liebanas, F. J. A., Rodriguez, M. J. G., Frenich, A. G., Moreno, J. L. F. 2006. Validation of a gas chromatography/triple quadrupole mass spectrometry based method for the quantification of pesticides in food commodities. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 20(3), 365-375.



Sonlu Elemanlar Hesaplama Parametrelerinin Sac Metal Şekillendirme Simülasyon Süresi ve Hassasiyetine Etkisinin Tespiti

Hüseyin Vatansever¹, Emre Esener^{*2}

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1760-0008)

^{*2} Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5854-4834)

(İlk Geliş Tarihi 18 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 24 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.555491)

ATIF/REFERENCE: Vatansever, H. & Esener, E. (2019). Sonlu Elemanlar Hesaplama Parametrelerinin Sac Metal Şekillendirme Simülasyon Süresi ve Hassasiyetine Etkisinin Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 92-108.

Öz

Bir sonlu elemanlar analizinin en önemli çıktısı tahmin hassasiyetidir. Tahmin hassasiyetine etki eden parametreler prostesten bağımsız durumda olan ve modelleme adımlarını oluşturan sonlu elemanlar hesaplama parametreleridir. Simülasyon hassasiyetinin yanı sıra özellikle seri imalat endüstrisi açısından simülasyon çözüm süresi bir diğer kritik parametredir. Sonlu elemanlar analizlerinde verimin yükseltilebilmesi için hassasiyetten ödün vermeden minimum sürede çözümün tamamlanması gerekmektedir. Bu kapsamda hesaplama parametrelerinin iyi analiz edilip hassasiyete ve simülasyon süresine etkilerinin tespit edilmesi önem arz etmektedir. Yapılan çalışmanın amacı, sonlu elemanlar hesaplama parametrelerinin sac metal şekillendirme simülasyon süresi ve hassasiyetine etkisinin tespit edilmesidir. Bu kapsamda non-lineer sac metal şekillendirme simülasyonlarında hesaplama parametrelerinden simetri durumu, eleman boyutu, eleman formülasyonu, integrasyon nokta sayısı, zaman adım aralığı, adaptiv ağ yapısı derecesi, şekillendirme hızı etkisi, plastisite modeli ve çözümün gerçekleştirildiği sistemin çekirdek sayısı olmak üzere geniş bir küme analiz edilmiştir. Sac metal şekillendirme prosesi olarak malzeme şekillendirilebilirlik özelliklerinin belirgin şekilde analiz edilebildiği kare kutu çekme prosesi tercih edilmiştir. Malzeme olarak ise gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerden TRIP600 kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizi hassasiyetinin belirlenmesi amacıyla şekillendirme kuvvetinin zımba ilerleme mesafesine göre değişimini temsil eden deneysel eğri referans alınmıştır. Sonrasında belirlenen parametrelerin değişken değerlerinde simülasyonlar gerçekleştirilmiş olup her parametrenin hassasiyete ve çözüm süresine etkisi tespit edilmiştir. Bu kapsamda deneysel eğrinin tahmin edilebilirliği her parametre için incelenmiştir. Yapılan simülasyon sonucunda süreye etki eden en baskın parametrenin sonlu elemanlar modelinin simetri durumu olduğu tespit edilmiştir. Parametre kümelerinden süreyi minimize eden parametrelerin tespiti sonrasında elde edilen en verimli simülasyon sonucunda başlangıç durumuna göre hassasiyetten ödün vermeden zamandan %90 oranında tasarruf edilmiştir. Başlangıçta 2514 saniye süren simülasyon aynı hassasiyeti içerecek şekilde 94 saniyede tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar analizi, Sac metal şekillendirme, Hesaplama parametreleri, Hassasiyet, Simülasyon süresi.

Determining The Effect of Finite Element Calculation Parameters on Sheet Metal Forming Simulation Time and Accuracy

Abstract

The most significant output of a finite element analyses is the prediction accuracy. Effective parameters on the prediction accuracy can be defined as finite element calculation parameters which are independent of the process and generates the modeling stages. Besides the prediction accuracy, simulation time is another critical parameter especially in terms of mass production industry. Simulation time must be minimized without compromising prediction accuracy for increasing efficiency of the finite element

¹ Sorumlu Yazar: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5854-4834, emre.esener@bilecik.edu.tr

analyses. In this context, calculation parameters must be well defined and determination on simulation time and accuracy must be analyzed. The aim of this study is to determine the effects of finite element calculation parameters on sheet metal forming simulation time and accuracy. In this context, symmetry condition, element size, element formulation, number of integration points, time step size, adaptivity level, forming speed, plasticity model, and number of cores in CPU are analyzed as finite element calculation parameters. Square cup drawing is used as sheet metal forming process due to its capability to analyzing formability properties of materials. TRIP600 advanced high strength steel is used as material. Forming force vs. punch stroke curve is used as experimental result for validating the finite element simulation prediction accuracy. Then, simulations with determined parameters were performed with selected values and effects of these parameters on simulation time and accuracy are contained. As a result of simulations, symmetry condition is obtained as the dominant parameter on simulation time. Simulation with productive parameters minimized the simulation time as 90%. Preliminarily, simulation time determined as 2514 seconds and as a result of this study simulation time is decreased to 94 seconds.

Keywords: Finite element analysis, Sheet metal forming, Calculation parameters, Accuracy, Simulation time.

1. Giriş

Sac metaller ağırlık/dayanım oranlarının iyi olması nedeniyle birçok sektörde sıklıkla kullanılan malzeme grubu olarak değerlendirilmektedir. İnce malzemelerin (~0,4-6 mm) kalıp takımları vasıtası ile plastik şekil değiştirme mantığı çerçevesinde form değiştirme işlemleri sac metal şekillendirme olarak isimlendirilmektedir. Düşük ağırlıklı ve yüksek mukavemetli malzemeler olmaları nedeniyle çarpışma ve ağırlıkça kritik parçaların yer aldığı otomotiv sektörü sac metallerin ana endüstrilerinden kabul edilmektedir. Seri üretimin hakim olduğu endüstrilerde üretim hızı oldukça kritik olduğundan üretim öncesi malzeme seçimi, kalıp takım yüzeylerinin geliştirilmesi ve proses tasarımı adımlarının da hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu süreçlerin deneme/yanılma yöntemiyle gerçekleştirilmesi gerek maliyet gerekse de zaman açısından dezavantajlı konumdadır. Bu nedenle proses tasarımı aşamasında günümüzde bilgisayar destekli mühendislik araçları kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ise bu araçlar arasında en sık kullanılan yöntem olarak öne çıkmaktadır [1]. Sonlu elemanlar analizi yöntemi temel olarak karmaşık geometrilerin basit sonlu elemanlarla temsil edilmesi sonucunda dış yükler altında gerilme ve deplasmanların hesaplanması olarak tanımlanabilmektedir.

Sac metal şekillendirme prosesleri sırasında ve sonrasında ürün geometrilerinin karmaşık olmasından ve ince malzemelerle çalışılmasından dolayı birçok hata ile karşılaşmaktadır. Bu hatalar genellikle yırtılma, kırışma, kulaklanma ve şekil bozukluğu olarak ortaya çıkmaktadır. Oluşan hataların ana kaynağı genellikle proses parametreleridir. Yapılan literatür çalışmaları genellikle parça tutucu kuvvet, kalıp hızı, kalıp geometrisi ve sürtünme koşullarının sac metal şekillendirme hataları üzerinde baskın etkilerinin bulunduğunu ortaya koymaktadır [2-5]. Bir sac metalin bahsedilen hatalar olmaksızın şekil alabilme kabiliyetine şekillendirilebilirlik denilmektedir. Kalıp takımlarının şekillendirme yüzeyleri hatasız ürün formunu yakabilecek şekilde geliştirilmelidir. Bu kapsamda malzemenin şekillendirilebilirliği proses parametreleri açısından analiz edilmelidir. CAD ortamında geliştirilen ilk kalıp yüzeyleri sonlu elemanlar analizi kullanılarak malzemelerin form alabilme kabiliyetlerinin ve proses parametrelerinin bu forma etkisinin incelenmesi sonucunda güncellenmekte olup bu işlem iteratif bir şekilde sağlanmaktadır. Her bir iterasyon adımı bir sonlu elemanlar analizini ya da optimizasyon adımını temsil etmektedir [6]. Sac metal şekillendirme simülasyonları büyük şekil değişimleri içerdiğinden ve temas yüzlerinin bulunmasından ötürü yüksek non-lineerlik barındırmaktadır.

Bir sonlu elemanlar analizinin en önemli çıktısı tahmin hassasiyetidir. Tahmin hassasiyeti sonlu elemanlar sonucunda elde edilen sonuçların gerçek deneysel parçaya ne kadar yakınsadığının temsil durumudur. Bu nedenle sonlu elemanlar analizlerindeki proses koşulları gerçek koşullarla aynı tutularak simülasyonlar gerçekleştirilmektedir. Bu durumda tahmin hassasiyetine etki eden parametreler prostesten bağımsız durumda olan ve modelleme adımlarını oluşturan sonlu elemanlar hesaplama parametreleridir. Modelleme adımında hesaplama adımlarını oluşturan hesaplama parametreleri sınır koşulları, geometriyi temsil eden eleman bilgileri ve malzemenin plastik davranışını modelleyen plastisite modelleri olarak tanımlanabilmektedir. İlgili parametrelerin belirlenme şekli ve seçilme nedenleri simülasyon hassasiyetine doğrudan etki etmektedir [7]. Simülasyon hassasiyeti üzerine yapılan çalışmalar göz önüne alındığında hesaplama parametrelerinin tahmin hassasiyetine etkisi açıkça görülmektedir [8-11]. Literatürde yapılan çalışmalar genellikle eleman boyutunun ve plastisite modellerinin etkileri üzerine yoğunlaşmıştır [12-15].

Simülasyon hassasiyetinin yanı sıra özellikle seri imalat endüstrisi açısından simülasyon çözüm süresi bir diğer kritik parametredir. Yukarıda bahsedildiği üzere sac metal şekillendirme simülasyonları yüksek non-lineerlik barındırdığından modelleme ve çözüm aşamaları da karmaşık adımlar içermektedir. Karmaşık geometrilerde gerçekleştirilen sac metal şekillendirme simülasyonları karmaşıklık derecesine bağlı olarak saatler hatta günler sürebilmektedir [16, 17]. Seri üretim açısından bu tarz simülasyonlar zaman açısından ciddi kayıplara yol açabilmektedir. Endüstride ise simülasyonlar genellikle tecrübelerle dayalı oluşturulmuş talimatlar ile gerçekleştirilmektedir. Literatürde ise simülasyon süresi açısından yapılmış çalışmalar oldukça kısıtlıdır [18-20]. Sonlu elemanlar analizlerinde verimin yükseltilebilmesi için hassasiyetten ödün vermeden minimum sürede çözümün tamamlanması gerekmektedir. Bu kapsamda hesaplama parametrelerinin iyi analiz edilip hassasiyete ve simülasyon süresine etkilerinin tespit edilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, sac metal şekillendirme sonlu elemanlar analizlerinde hesaplama parametrelerinin simülasyon hassasiyeti ve çözüm süresine etkileri analiz edilmiştir. Hesaplama parametrelerinden sınır koşulları, çözüm adımları, plastisite modelleri ve eleman bilgilerini içeren parametrelerin geniş bir kümesi tek bir proses üzerinde analiz edilmiş ve her bir parametrenin hem hassasiyete hem

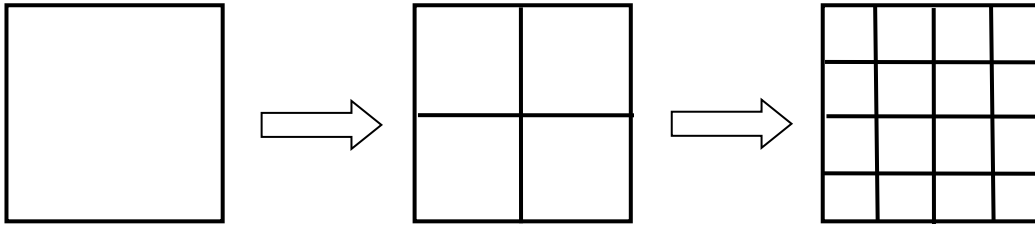
de simülasyon süresine etkileri tespit edilmiştir. Prosese ait deneysel sonuçlar hassasiyet sağlaması için kullanılırken çözüm süresini minimize eden parametreler tespit edilmiş olup çözüm süresi açısından büyük derecede iyileştirme sağlanmıştır.

2. Sonlu Elemanlar Hesaplama Parametreleri

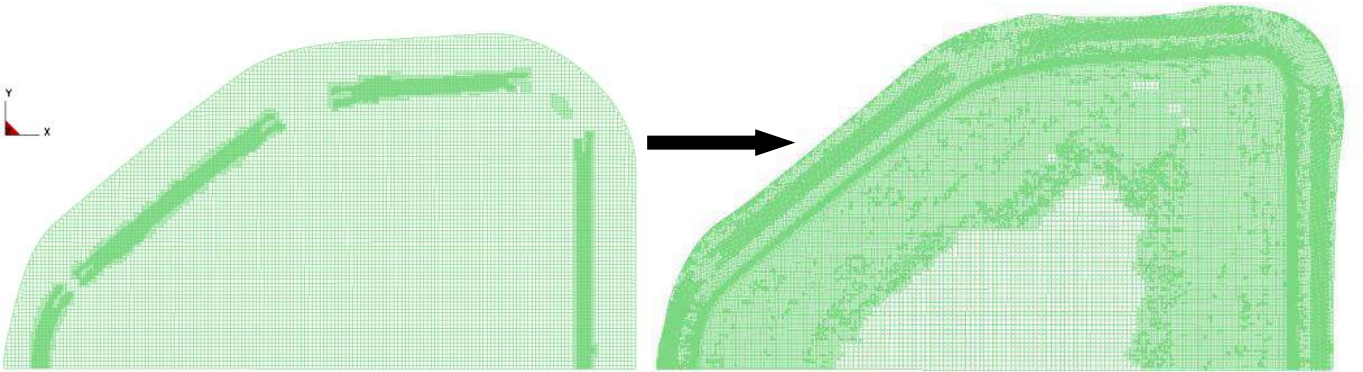
Çalışmanın bu adımında sonlu elemanlar hesaplama parametrelerinin tanımlanması ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş ve yapılan çalışmada kullanılan tüm parametrelerin modelleme ve çözüm aşamalarındaki işlevleri açıklanmıştır. Sonlu elemanlar hesaplama parametrelerinden simetri durumu, eleman boyutu, eleman formülasyonu, integrasyon nokta sayısı, zaman adım aralığı, adaptiv ağ yapısı derecesi, hız etkisi, plastisite modeli ve çözümün gerçekleştirildiği sistemin çekirdek sayısı olmak üzere geniş bir küme analiz edilmiştir.

Bir sonlu elemanlar analizinde CAD ortamından alınan geometrilere uygulanan ilk işlem genelde ağ yapısının oluşturulmasıdır. Bir sonlu elemanlar ağ yapısı eleman ve düğüm noktalarından meydana gelmektedir. Burada, eleman geometriyi temsil eden sonlu parçacıkları, düğüm noktası ise bu parçacıkların köşe noktalarını temsil etmektedir. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılacak eleman tipleri genellikle 1-Boyutlu kiriş elemanlar, 2-Boyutlu kabuk ya da membran elemanlar ve 3-Boyutlu kübik elemanlardır. Sac metal şekillendirme prosesleri bir düzlem gerilme problemi olduğundan ve kalıp takımlarının yalnızca form verme yüzeylerinin kritik olmasından ötürü geometriler yüzey olarak modellenir. Bu nedenle sac metal şekillendirme işlemlerinde eleman tipi olarak çoğunlukla kabuk eleman kullanılmaktadır [21]. Simülasyonlarda geometrileri temsil eden elemanların bir diğer önemli özelliği ise eleman boyutudur. Sistemi temsil eden eleman sayısının artması çözülecek diferansiyel denklem sayısını arttırdığından bu durumun paralelinde çözüm süresini de arttırmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde eleman boyutunun küçülmesi çözüm hassasiyeti açısından genellikle olumlu bir etki meydana getirmektedir [22, 23]. Özellikle geometrilerin eğrisel bölgelerinin temsili açısından bu bölgelerde eleman boyutunun düzlemsel bölgelere göre daha küçük seçilmesi gerekmektedir.

Sonlu elemanlar analizlerinde eleman boyutu etkisinin bir diğer değerlendirme şekli ise ağ adaptasyonudur. Bu durum adaptivite olarak değerlendirilir ve sonlu elemanlar hesaplama parametresi olarak adaptivite derecesi kullanılır. Ağ adaptasyonunda temel mantık, özellikle eğilme deformasyonuna uğrayan bölgelerde (radyüs, süzdürme çubuğu v.b.) çözüm sırasında başlangıç ağ yapısının küçültülerek daha hassas sonuçların alınmasıdır. Bu kapsamda örneğin bir dörtgen eleman birinci adaptasyon seviyesinde dörde bölünür ve her seviyede bu durum kendi içinde bölünmelerle devam eder. Çözüm sonrasında başlangıç ağ yapısının ağ adaptasyonu sonrasında değiştiği gözlemlenmektedir. Ağ adaptasyonunun şematik gösterimi ve ağ adaptasyon uygulamasına ait bir örnek sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Ağ Adaptasyonu Şematik Gösterimi

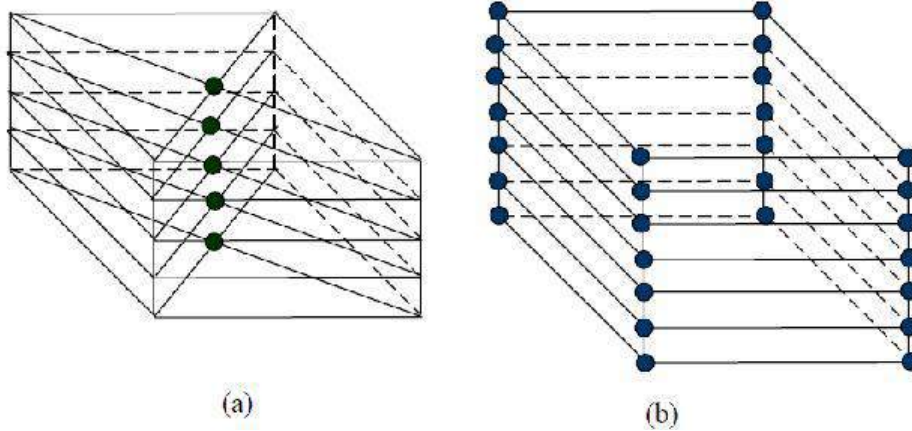


Şekil 2. Ağ Adaptasyonu Durumuna Bir Örnek

Eleman açısından bir diğer önemli özellik ise elemanın çözüm şeklini belirleyen eleman formülasyonudur. Kabuk elemanlar genellikle Hughes-Liu (HL), Belytschko-Tsay (BT) ve Tam integrasyonlu eleman formülasyonları ile modellenmektedirler [24]. Bu formülasyonlardan en eskisi 1981 yılında ortaya atılan Hughes-Liu [25] formülasyonudur. HL kabuk elemanlarda, eleman yapısı rijit hareketlerde gerinim üretmediği için birçok uygulamada sonlu gerinim hesaplaması rahatlıkla yapılabilmektedir. Ayrıca basit yapısından dolayı hesaplanma kolaylığı sağlamaktadır ve sonlu enine kayma gerinimlerini üzerinde barındırmaktadır Bunun yanı sıra

kabuk elemanlarda kalınlık yönünde inceleme hesabı yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Belytschko-Tsay kabuk eleman formülasyonu ise 1984 yılında ortaya atılmıştır [26]. BT kabuk elemanı, HL kabuk elemanına göre daha avantajlıdır. Bunun nedeni BT kabuk elemanlar HL kabuk elemanlara göre daha az sayıda işleme gereksinim duymaktadır ve dolayısı ile çözüm süresini oldukça kısaltmaktadır ve hesaplama maliyetini düşürmektedir. Örneğin 5 integrasyon noktalı bir kabuk eleman için Hughes-Liu 4050 matematiksel operasyona ihtiyaç duyarken aynı durumda Belytschko-Tsay formülasyonu 725 matematiksel operasyona ihtiyaç duymaktadır [27]. BT kabuk elemanı dönel koordinat sistemi üzerine oturtulmuş hız-gerinim hesaplama metodunu kullanan bir elemandır. Eleman koordinat sistemi kullanılması lineer olmayan hesaplama karmaşasında hesaplama kolaylığı sağlarken hıza bağlı gerinim özelliğinin olması Cauchy gerilmesiyle benzerlikler göstermektedir. Tam integrasyonlu kabuk elemanlar ise, kilitlenme problemlerini azaltmak ve düzlemsel eğme davranışını arttırmak için gerinim interpolasyonu kabulü yapar. Lokal koordinat sistemi kullanır. Bu koordinat sistemi malzemedeki rijit cisim hareketini tanımlayabilmek için malzeme ile birlikte dönmektedir. Lokal koordinat sistemi BT kabuk elemanına benzerdir. İki temel vektör eleman merkezindeki kabuk yüzeyine teğet, üçüncü vektör ise bu yüzeye normal durumundadır. Tam integrasyonlu kabuk elemanlar, BT kabuk elemanları gibi hızlı çözüm yapabilen bir eleman formülasyonudur.

Kabuk elemanlar düzlem gerilme problemlerini modelleme amaçlı olduklarından temsil ettikleri geometriler yüzey modelleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Sac metal şekillendirme proseslerinde inceleme oldukça kritik bir parametre olduğundan kalınlık yönündeki gerilme dağılımına ihtiyaç duyulmaktadır. Kabuk eleman formülasyonları kalınlık yönündeki gerilme dağılımlarını integrasyon nokta sayısı ile hesaplamaktadır. İntegrasyon nokta sayısı kabuk elemanın kalınlık yönünde kaç katmanda incelendiğinin temsildir. İntegrasyon nokta sayısının bir eleman üzerinden gösterimi Şekil 3'te görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere gerilme hesapları kalınlık yönündeki integrasyon noktaları kullanılarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. Kabuk Eleman İçin (a) 5 Katmanda Sadeleştirilmiş (b) 7 Katmanda Tam Çözüm İçin Hesaplama Noktaları [28]

Bir diğer sonlu elemanlar parametresi ise zaman adımı büyüklüğüdür. Zaman adımı büyüklüğü şu şekilde hesaplanabilir,

$$\Delta t = \frac{L}{c} \quad (1)$$

Burada, Δt , zaman adımı büyüklüğünü, L sonlu elemanlar ağ yapısındaki en küçük elemanın kenar uzunluğunu, c ise ses hızını temsil etmektedir. Ses hızı ise şu şekilde hesaplanabilir,

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho_0(1-\nu^2)}} \quad (2)$$

Burada, E elastisite modülünü, ρ_0 malzeme yoğunluğunu, ν ise Poisson oranını temsil etmektedir. Zaman adımı büyüklüğü toplam zaman adımının bulunmasında kullanılır ve sonlu elemanlar analizlerinin çözüm süresini etkileyen önemli bir parametredir.

Sonlu elemanlar analizlerinin çözüm süresini kısaltmak adına geometrisinde simetri bulunan kalıp takımları yarı model ya da çeyrek model olarak tasarlanabilirler. Bunun için simetri sınır koşullarının tanımlanması gerekmektedir. Simetrinin sağlandığı eksen üzerindeki düğüm noktalarının uzaydaki serbestlik derecelerinin kısıtlanması ile simetri davranışı modellenebilmektedir. Çözüm süresine etki eden bir diğer parametre de deformasyon hızıdır. Bu kapsamda şekillendirme sırasında kalıp hızının etkisi hem simülasyon süresine hem de simülasyon tahmin hassasiyetine doğrudan etki etmektedir.

Hesaplama parametreleri açısından malzemenin plastik davranışını modelleyen plastisite modelleri hesaplama adımında hassasiyete doğrudan etki eden bir parametredir bunun paralelinde her bir plastisite modelinin çözüm adımları farklı olduğundan çözüm süresi de etkilenmektedir. Plastisite modelleri genellikle yaptıkları kabullere göre gruplandırılırlar. Bu gruplar, izotropik malzeme-izotropik pekleşme, anizotropik malzeme-izotropik pekleşme ve anizotropik malzeme-kinematik pekleşme olarak isimlendirilmektedir. Yapılan çalışma kapsamında izotropik malzeme-izotropik pekleşme grubundan Holloman [29] denklemi temelli Power law plastisite modeli, anizotropik malzeme-izotropik pekleşme grubundan Hill-48 [30] ve Barlat-89 [31] plastisite modelleri ve anizotropik malzeme-kinematik pekleşme grubundan Yoshida-Uemori [32] plastisite modelleri kullanılmıştır. Plastisite modelleri değerlendirildiğinde;

Power law plastisite modeli için Holloman ifadesinde gerilme ve plastik gerinim arasındaki ilişki Denklem (3)'teki şekilde yazılabilir.

$$\sigma = K \cdot \varepsilon_p^n \quad (3)$$

Burada K, mukavemet katsayısını ve n, pekleşme üstelini temsil etmektedir. Bu modellerden farklı olarak malzeme davranışını anizotropik olarak kabul eden, izotropik pekleşme temelli ve en sık kullanılan malzeme modelleri Barlat-89 ve Hill-48 modelleridir. Barlat-89 modeli akma yüzeyi malzemenin anizotropik parametrelerine bağlı olarak elde etmektedir. Düzlem gerilme problemleri için model şu şekilde yazılabilir.

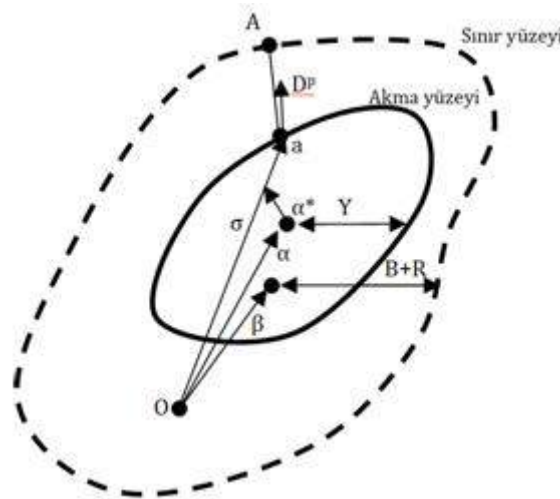
$$2\sigma_y^m = a|K_1 + K_2|^m + a|K_1 - K_2|^m + c|K_2|^m \quad (4)$$

Burada σ_y akma gerilmesi olup K_1 ve K_2 farklı yönlere akma gerilmelerine, a ve c ise anizotropi katsayılarına bağlı parametrelerdir. Yine bu denklemde yer alan m üsteli ise malzemenin kristal kafes yapısı ile ilişkili olup yüzey merkezli kübik malzemeler için 8, hacim merkezli kübik malzemeler için ise 6 olarak kullanılması tavsiye edilmektedir [31]. Barlat dışında malzemeyi anizotropik olarak kabul eden ve günümüzde hala en sık kullanılan plastisite modeli Hill-48'dir. Bu model, düzlem gerilme için şu şekilde yazılabilmektedir.

$$2f(\sigma_{ij}) = (G + H)\sigma_{11}^2 - 2H\sigma_{11}\sigma_{22} + (H + F)\sigma_{22}^2 + 2N\sigma_{12}^2 = 1 \quad (5)$$

burada σ_{11} , σ_{22} asal gerilmeleri ve σ_{12} ise kayma akma gerilmeleridir. F, G H ve N sabitleri ise malzemenin anizotropi katsayılarına ve/veya akma gerilmelerine bağlı parametrelerdir.

Çalışmada incelenilen üçüncü grup plastisite modeli olarak ise kinematik pekleşme kabulü yapan modellerden günümüzde en sık kullanılan Yoshida-Uemori [32] kinematik pekleşme modeli tercih edilmiştir. Pekleşmeyi temsil edebilmek adına bu model, akma yüzeyi ve sınır yüzey olmak üzere iki yüzeye ihtiyaç duymaktadır. Şekillendirme prosesinde, akma yüzeyi boyut olarak değişmez fakat deformasyonla akma yüzeyinin merkez noktası hareket eder, sınır yüzeyi ise hem şekil olarak hem de konum olarak değişir. Şekil 1'de iki yüzeyli kinematik modelin şematik gösterimi görülmektedir. Burada, "O" akma yüzeyinin merkez noktasıdır, α^* , akma yüzeyinin mevcut durumdaki merkezidir ve α ise sınır yüzeyin merkezidir. β , iki yüzeyin merkez noktaları arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Y, akma yüzeyinin boyutudur ve deformasyon süresince değişmemektedir. B+R, sınır yüzeyinin boyutunu temsil etmektedir, R izotropik pekleşme ile ilişkilidir. Yoshida nonlinear pekleşme modeli Bauschinger etkisini ve sac metal şekillendirme proseslerindeki malzeme davranışını tanımlamakta başarılı bir modeldir. Yeni nesil yüksek mukavemetli çelikler için de başarılı sonuçlar verebilmektedir. Şekil 4'te Yoshida kinematik pekleşme modeli ile tahmin edilen bir malzeme davranışı gerilme-gerinim eğrisi üzerinde gösterilmiştir.



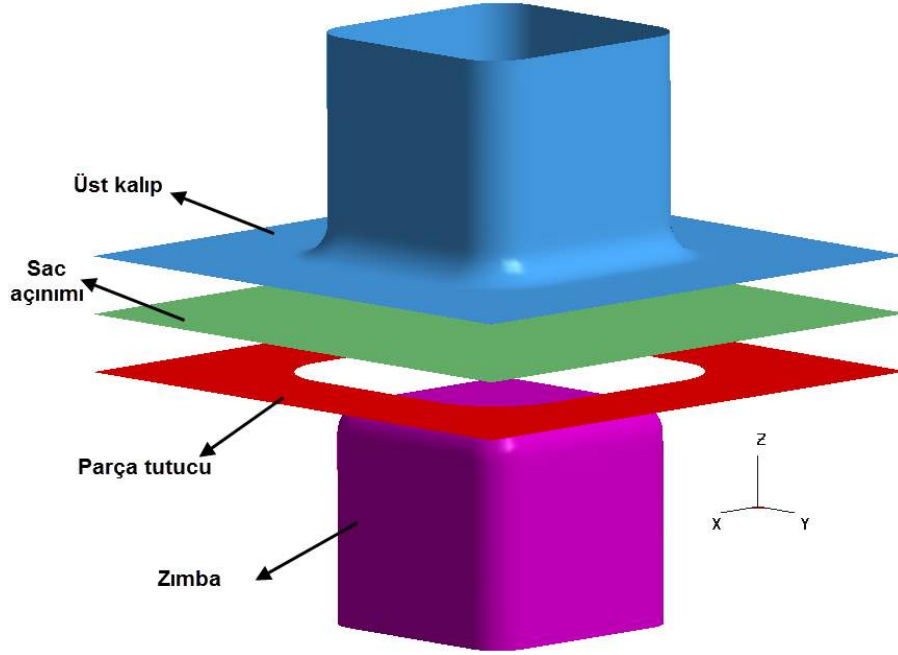
Şekil 4. İki Yüzeyli Modelin Şematik Gösterimi [32]

Yapılan çalışmada yukarıda anlatılan tüm hesaplama parametrelerinin simülasyon hassasiyeti ve simülasyon süresine etkileri ayrı ayrı değerlendirilerek, her bir parametre için en uygun değerler belirlenmiş ve simülasyon süreleri minimize edilmiştir.

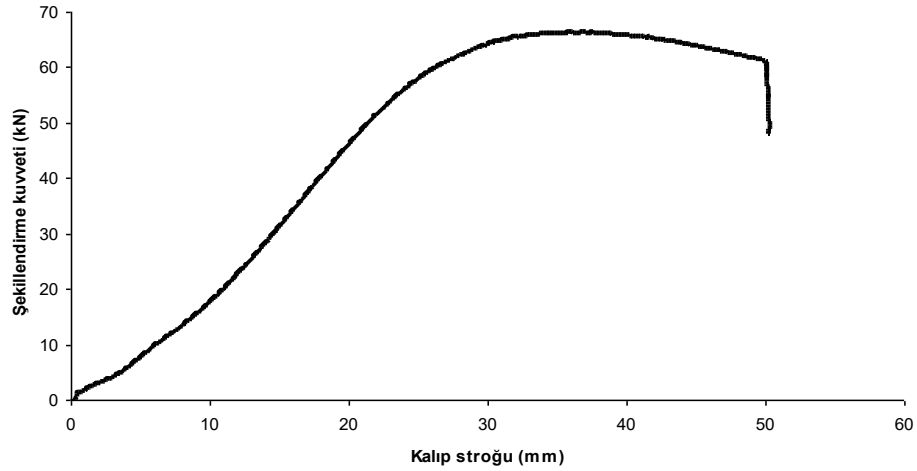
3. Uygulama Çalışması

Yapılan çalışmada sac metal şekillendirme sonlu elemanlar analizlerinin simülasyon sürelerinin analizi aşamasında uygulama olarak malzemelerin şekillendirilebilirliğinin etkin bir şekilde değerlendirilebildiği kare kutu çekme prosesi kullanılmıştır. Sac metal malzemesi olarak gelişmiş yüksek mukavemetli çelik grubundan TRIP600 çeliği incelenmiştir. Bu çalışma simülasyon süresi ile ilgili

olup malzemeden bağımsız bir çalışma olduğundan seçilen malzemenin çalışmanın değerlendirilmesi adımı bir önemi bulunmamaktadır. Kare kutu çekme işlemine ait kalıp takım geometrileri Şekil 5'te verilmiştir. Bu prosesin TRIP600 için deneysel bazda gerçekleştirildiği [33] çalışmasında deneysel sonuç olarak "Şekillendirme kuvveti-Kalıp stroğu" eğrisi verilmiştir. Yapılan simülasyonların hassasiyet açısından doğrulanması bu eğri vasıtası ile yapılmıştır. Deneysel eğri Şekil 6'da görülmektedir. Prosesle ilgili parametreler deney koşulları ile aynı olacak şekilde sonlu elemanlar modellerinin tamamında tanımlanmıştır. Proses parametreleri olarak parça tutucu kuvveti 94 kN ve sürtünme katsayısı 0,125 olarak kullanılmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde anlatılan sonlu elemanlar hesaplama parametreleri kullanılarak kare kutu çekme prosesine ait modelleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada hesaplama parametreleri geniş bir küme içerisinde değerlendirilmiş olup kullanılan parametreler ve bu parametrelere ait değerler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan sonlu elemanlar analizlerinin tamamı Ls-Dyna ticari yazılımında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Kare Kutu Çekme Kalıp Takımı



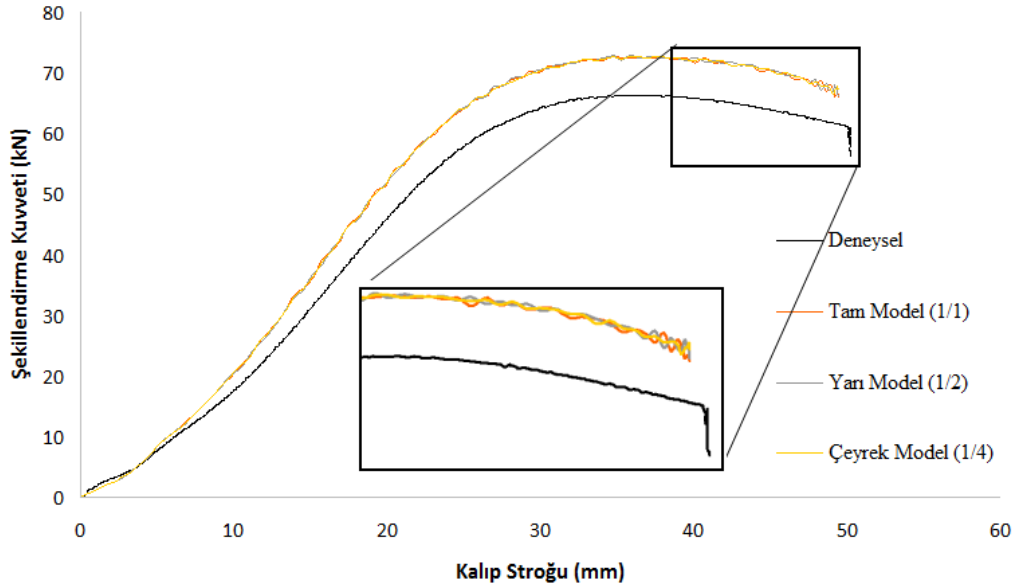
Şekil 6. Deneysel Şekillendirme Kuvveti-Kalıp Stroğu Eğrisi

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Sonlu Elemanlar Hesaplama Parametreleri

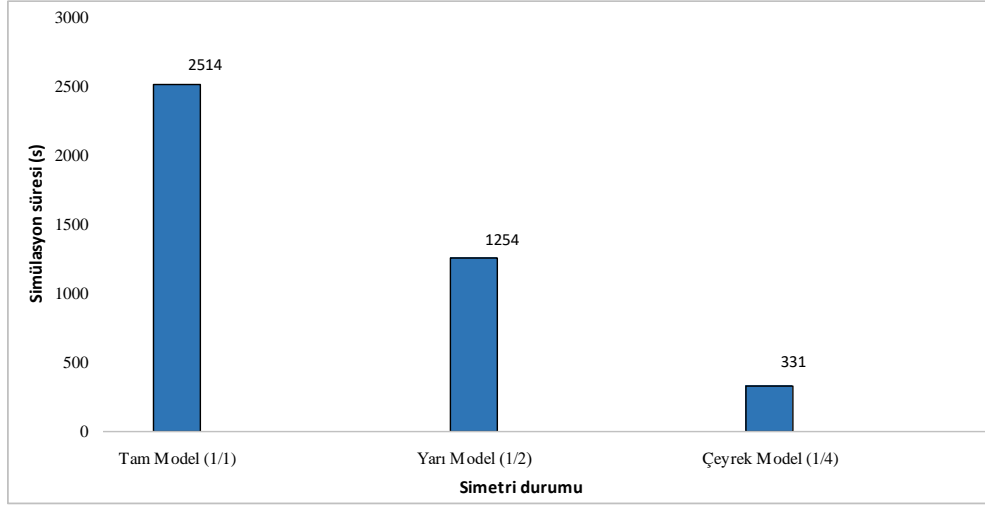
Parametre	Değer					
	1/4	1/2		1/1		
Simetri Durumu	1/4	1/2		1/1		
Çekirdek Sayısı	4			8		
Adaptiv Ağ Yapısı Derecesi	0 (Adaptivite yok)	1	2	3	4	5
Eleman Boyutu (mm)	1		3		5	7
İntegrasyon Nokta Sayısı	3		5		7	9
Eleman Formülasyonu	Hughes-Liu		Belytchsko-Tsay		Fully Integrated	
Kalıp Hızı (mm/s)	500	1000	2000		3000	5000
Zaman Adım Aralığı Ölçeği	1/1		1/5		x10	
Malzeme Modeli	Power Law	Hill-48	Barlat-89		Yoshida- Uemori	

Çalışmada ilk olarak simetri durumu incelenmiş olup kare kutu çekme prosesi aksel simetriye sahip olduğundan modelleme adımları tam model, yarı model ve çeyrek model olmak üzere üç adımda yapılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonrasında şekillendirme kuvveti-kalıp stroğu eğrileri elde edilmiş ve deneysel sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonuçları Şekil 7'de görülmektedir. Simetri koşulları değerlendirildiğinde tahmin performanslarının oldukça benzer oldukları görülmektedir. Sonuç olarak simetri koşulunun simülasyon hassasiyetini efektif bir şekilde etkilemediği tespit edilmiştir. Simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında simetri koşulunun etkisi açıkça görülmektedir. Sonlu elemanlar analizi sürelerinin karşılaştırılması Şekil 8'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere çeyrek modelli simülasyon oldukça avantajlı olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle modelleme çalışmanın sonraki adımlarında çeyrek model kullanılmıştır.

SİMETRİ DURUMU

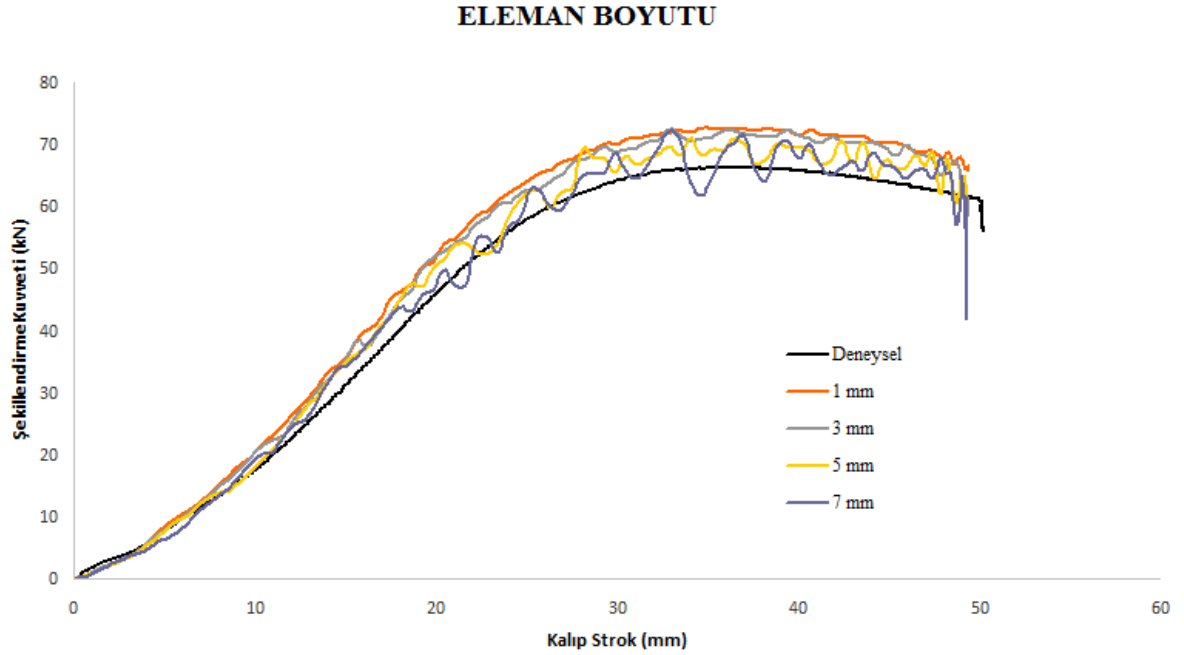


Şekil 7. Simetri durumuna göre kuvvet-strok eğrilerinin karşılaştırılması

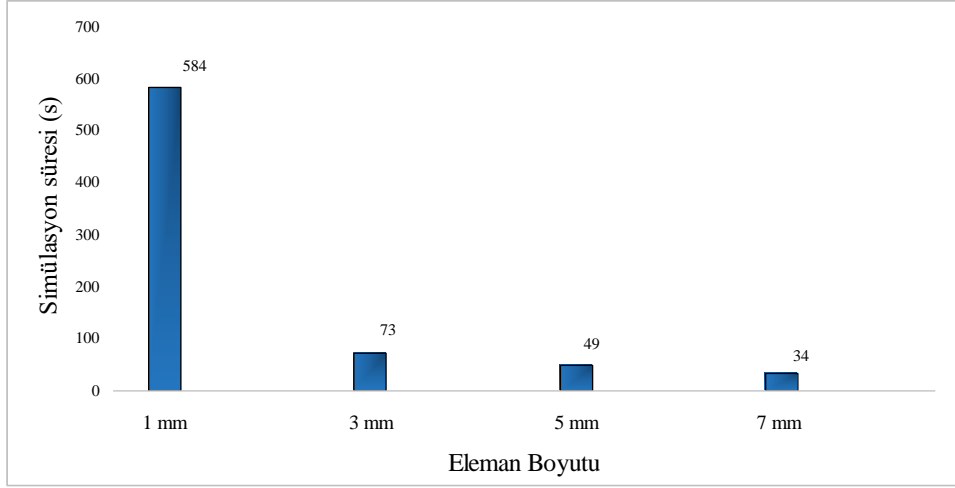


Şekil 8. Simetri durumuna göre simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

Çalışmanın ikinci adımında eleman boyutunun etkisi incelenmiştir. Sac açınımına ait eleman boyutları 1, 3, 5 ve 7 mm olarak kullanılmış ve sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Kuvvet-strok eğrilerinin deneysel sonuçla kıyaslanması Şekil 9'da, simülasyon sürelerinin durumu ise Şekil 10'da görülmektedir. Şekillerden görüldüğü üzere eleman boyutunun büyümesi simülasyon süresini belirgin bir şekilde düşürmektedir fakat hassasiyet açısından bakıldığında eleman boyutunun büyümesi hassasiyeti negatif şekilde etkilemektedir. Tercih önceliği tahmin hassasiyeti olduğundan sonraki simülasyonlar için 1 mm eleman boyutu tercih edilmiştir.

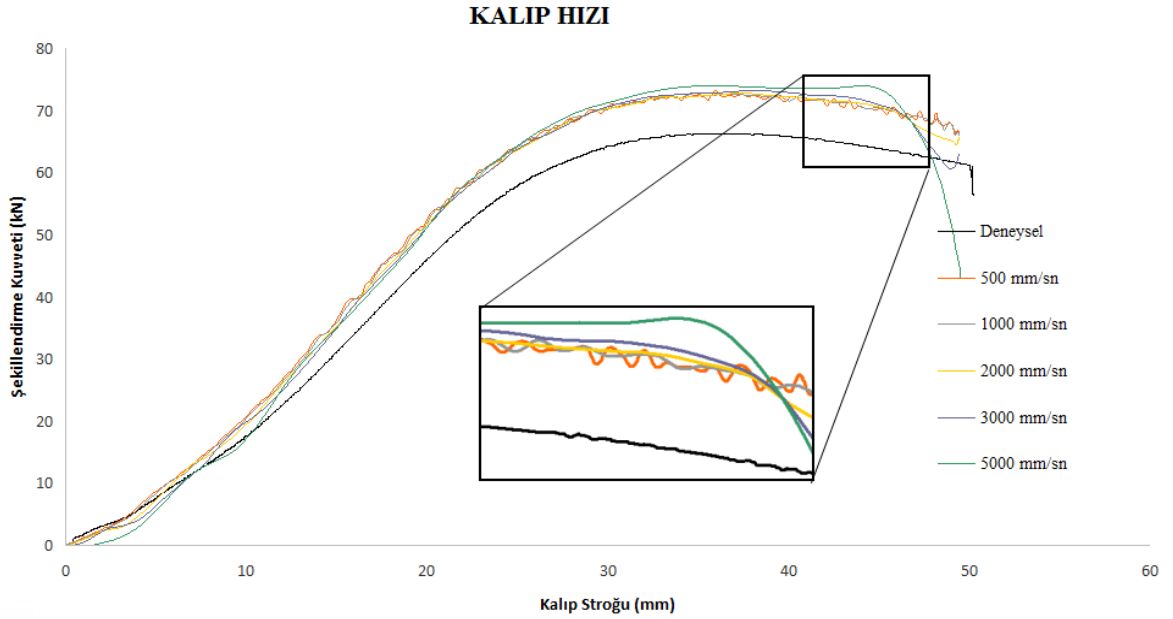


Şekil 9. Eleman boyutuna göre kuvvet-strok eğrilerinin karşılaştırılması

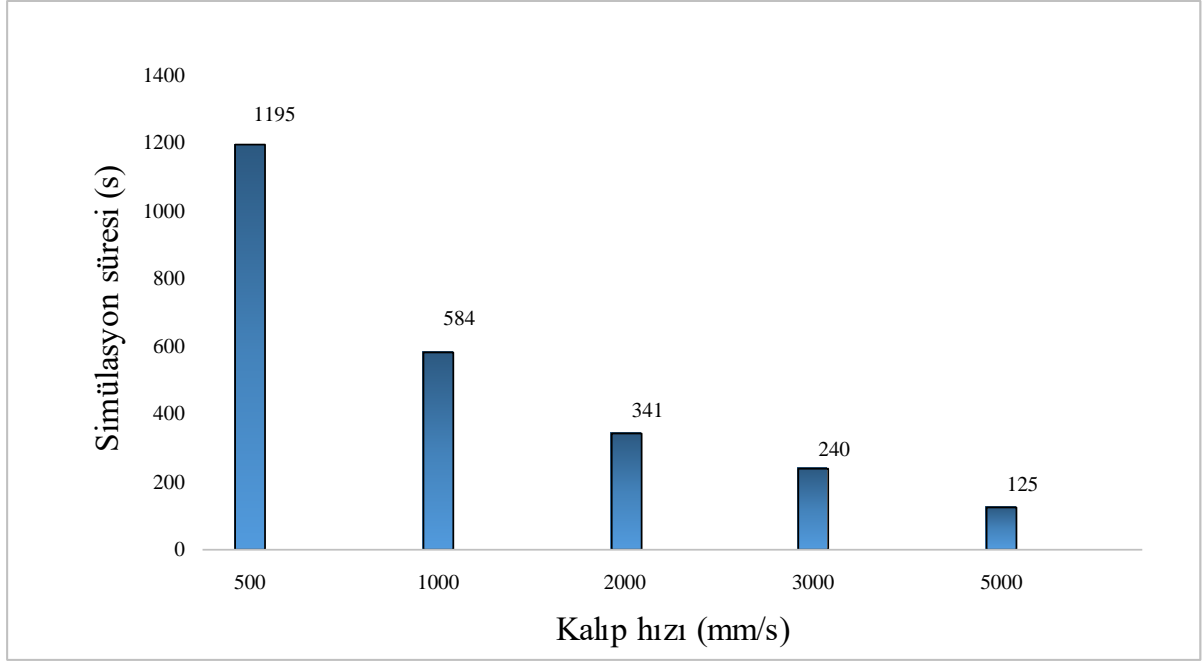


Şekil 10. Eleman boyutuna göre simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

Çalışmanın bir diğer adımında deformasyon hızının etkisi incelenmiş olup bu kapsamda kalıp ilerleme hızı hesaplama parametresi olarak kullanılmıştır. Şekillendirme hızı değerleri 500, 1000, 2000, 3000 ve 5000 mm/s olarak belirlenmiş ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonların hassasiyet karşılaştırması Şekil 11'da, sürelerinin karşılaştırması ise Şekil 12'de verilmiştir. Deneysel sonuçlarla kıyaslamalar incelendiğinde 5000 mm/s hız değerinin deneysel eğriden uzak tahminde bulunduğu, diğer hız değerlerinin ise birbirlerine yakın sonuç verdikleri tespit edilmiştir. Süre açısından parametreler incelendiğinde 2000 mm/s hız değerinin hem süreden hem de hassasiyet açısından en uygun değer olduğu tespit edilmiştir.

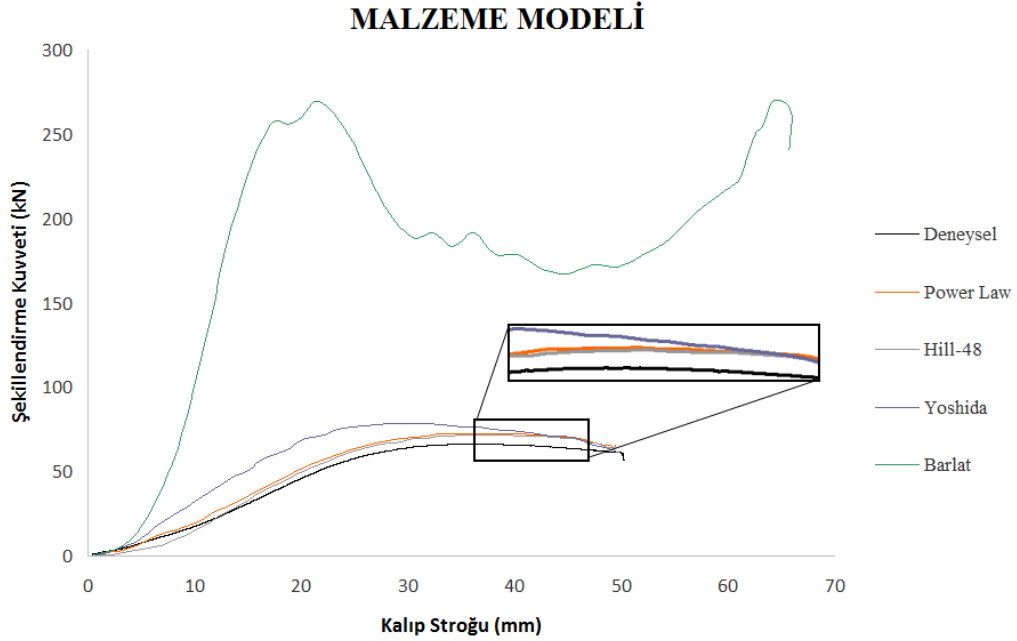


Şekil 11. Kalıp hızına göre kuvvet-strok eğrilerinin karşılaştırılması

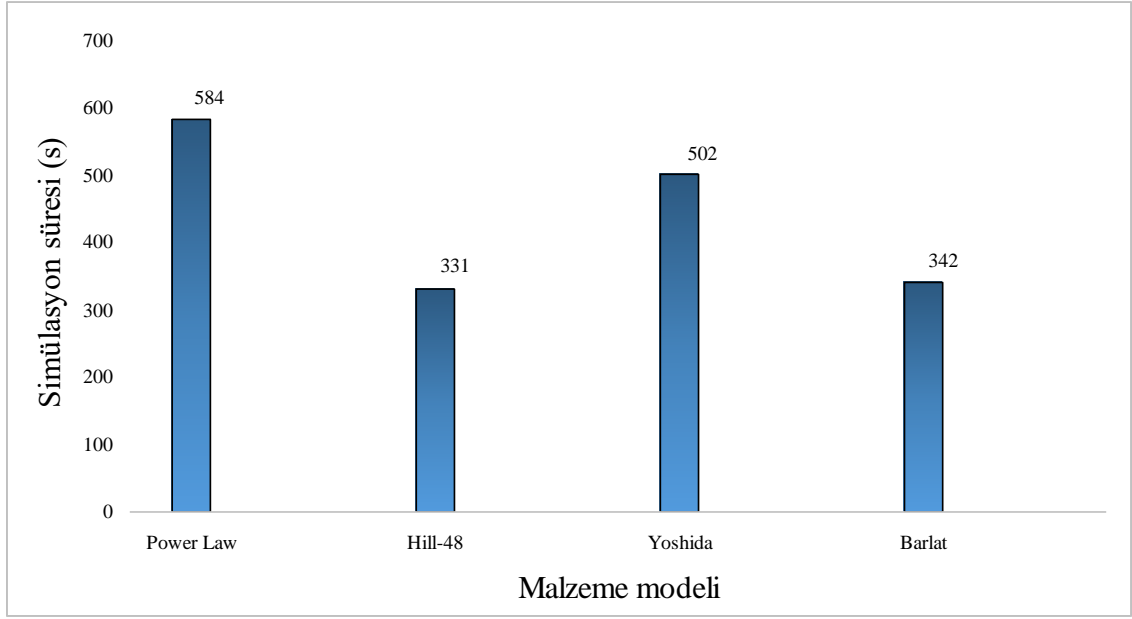


Şekil 14. Kalıp hızına göre simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

Çalışmada farklı malzeme modellerinin kullanımı incelemek amacı ile deneysel sonuçla karşılaştırmak adına 4 farklı plastisite modeli çalışılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonrasında karşılaştırma sonuçları hassasiyet açısından Şekil 13'te, süre açısından ise Şekil 14'te verilmiştir. Barlat-89 modelinin gerçekten oldukça uzak bir sonuç verdiği görülmektedir. Bu durum Barlat-89 modelinin yeni nesil çelikler için çok uygun olmadığını göstermektedir. Diğer malzeme modelleri ile yapılan karşılaştırma sonucunda hem hassasiyet hem de süre açısından Hill-48 malzeme modelinin en uygun plastisite modeli olduğu tespit edilmiştir.

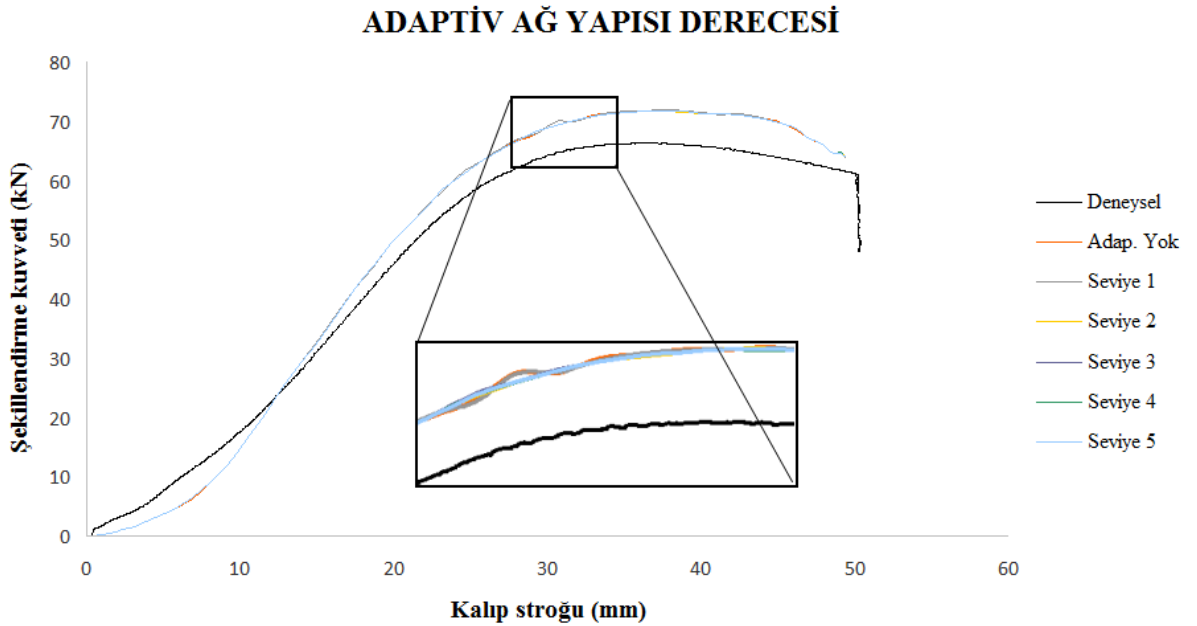


Şekil 13. Malzeme modeline göre kuvvet-strok eğrilerinin karşılaştırılması

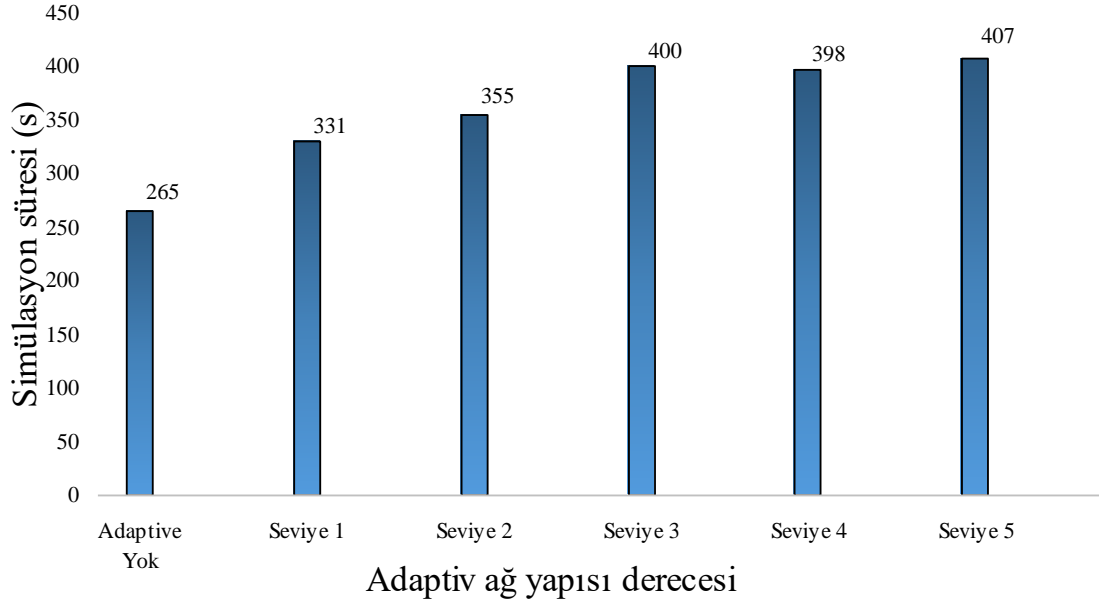


Şekil 14. Malzeme modeline göre simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

Çalışmanın sonraki adımında ağ yapısı adaptivitesi incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak ağ adaptasyonu kullanılmadan sac açımının başlangıç ağ yapısı korunarak simülasyon gerçekleştirilmiştir. Diğer durumlarda ise ağ adaptasyon seviyesi 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak kullanılmıştır. Hassasiyet açısından sonuçların değerlendirilmesi Şekil 15'te verilmiştir. Görüldüğü üzere ağ adaptasyonunda da etkin bir hassasiyet değişimi tespit edilmemiştir. Bu durumda simülasyon süreleri karşılaştırılmıştır (Şekil 16). En kısa sürede çözüme ulaşan durum ağ adaptasyonunun bulunmadığı durum olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle, çalışmanın sonraki simülasyonlarında ağ adaptasyonu kullanılmamıştır.

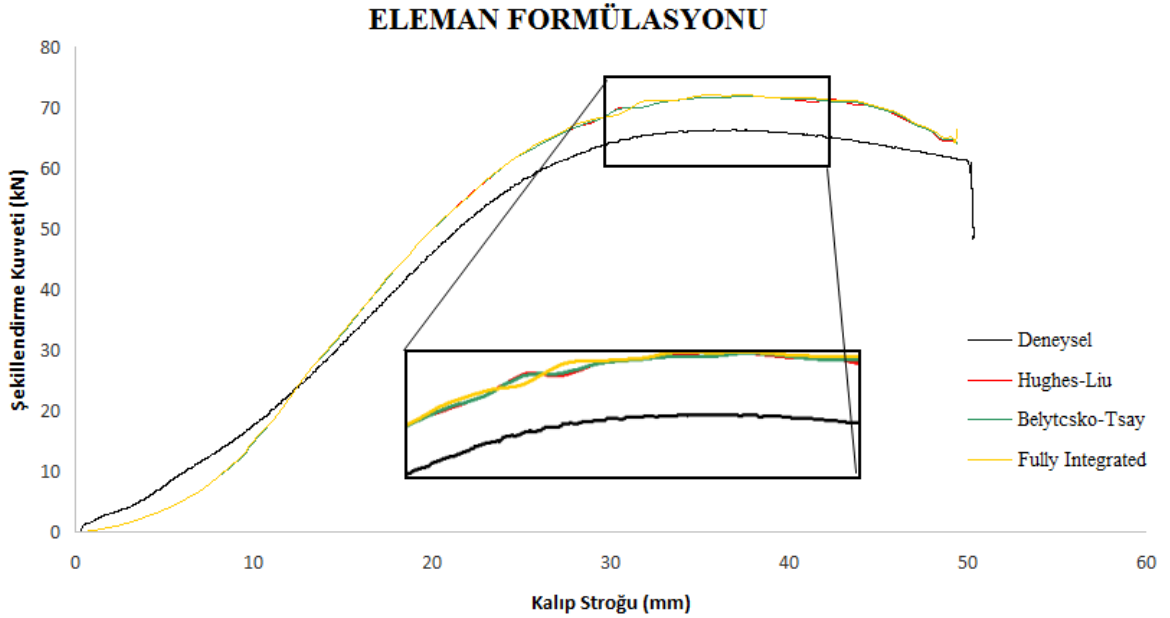


Şekil 15. Ağ adaptasyonuna göre kuvvet-strok eğrilerinin karşılaştırılması

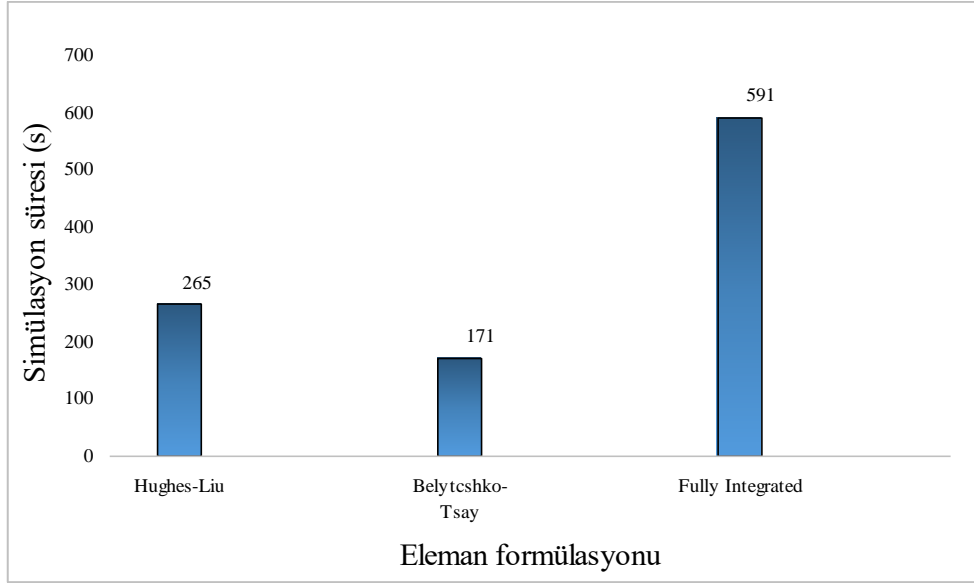


Şekil 16. Ağ adaptasyonuna göre simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

Bir diğer parametre olarak eleman formülasyonunun etkisi incelenmiştir. Eleman formülasyonu olarak Hughes-Liu, Belytschko-Tsay ve Tam integrasyonlu kabuk elemanlar kullanılmıştır. Simülasyonların gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen kuvvet-strok eğrilerinin deneysel sonuçla kıyaslanması Şekil 17'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere eleman formülasyonunun tahmin hassasiyetine belirgin bir etkisi tespit edilmemiştir. Simülasyon süreleri karşılaştırıldığında, simülasyon sürelerinin durumu ise Şekil 18'de görülmektedir. En kısada çözümün gerçekleştirildiği parametre olarak Belytschko-Tsay tespit edilmiş olup, sonraki simülasyonlar bu formülasyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



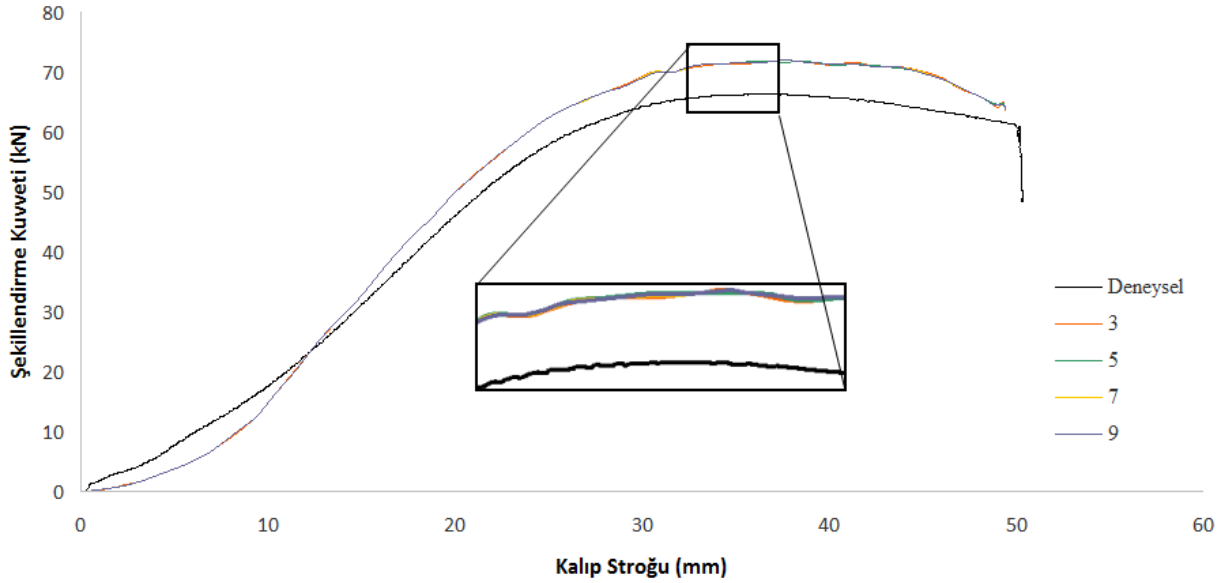
Şekil 17. Eleman formülasyonuna göre kuvvet-strok eğrilerinin karşılaştırılması



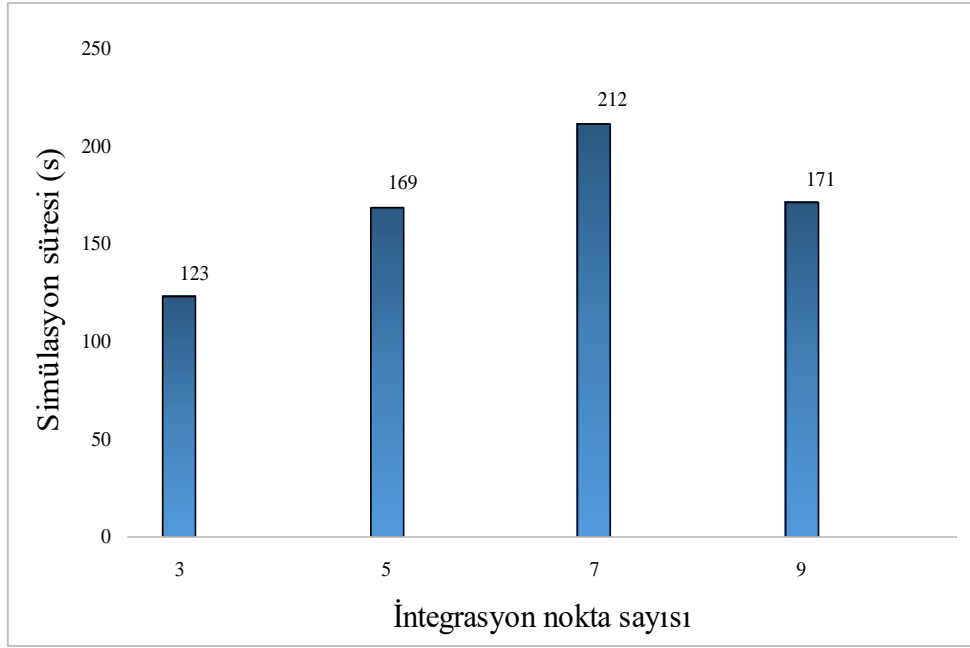
Şekil 18. Eleman formülasyonuna göre simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

Çalışmanın bir sonraki adımında hesaplama parametresi olarak integrasyon nokta sayısı incelenmiş olup bu kapsamda kalınlık yönünde 3, 5, 7 ve 9 adet integrasyon noktası kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların deneysel sonuçla doğrulanması Şekil 19'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere integrasyon nokta sayısının da hassasiyete belirgin bir etkisi tespit edilmemiştir. Bu nedenle simülasyon süreleri karşılaştırılmıştır ve karşılaştırma sonuçları Şekil 20'de verilmiştir. Görüldüğü üzere simülasyon süresinde iyileştirme sağlayan integrasyon nokta sayısı 3 olarak belirlenmiştir.

İNTEGRASYON NOKTA SAYISI



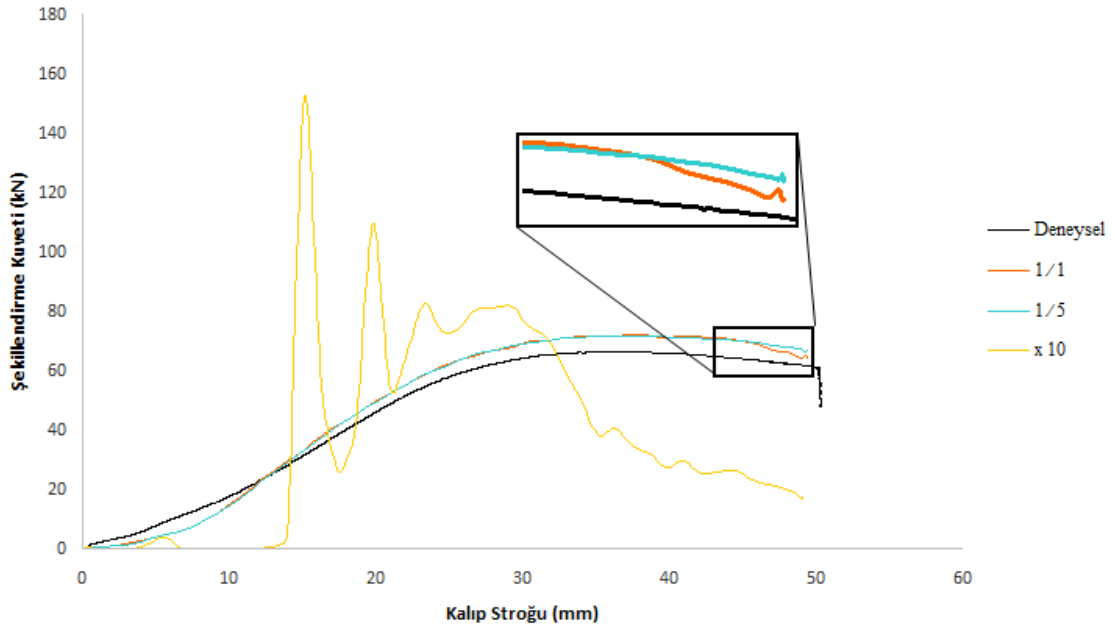
Şekil 19. Integrasyon nokta sayısına göre kuvvet-strok eğrilerinin karşılaştırılması



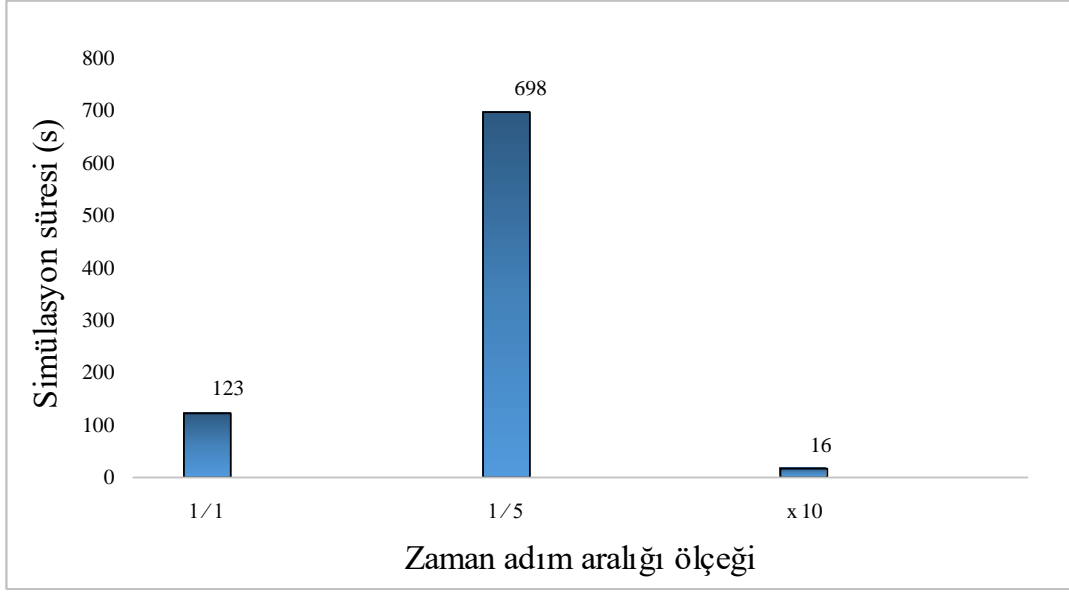
Şekil 20. İntegrasyon nokta sayısına göre simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

Bir sonraki adımda zaman adım aralığının etkisi incelenmiştir. Zaman adım aralığı üç farklı parametre değerinde kullanılmıştır. Bunların ilki Denklem (1)'de verildiği şekilde hesaplanan değer (1/1 ölçekli) olarak kullanılan durumdur. Diğer parametreler ise bu değer 1/5'i ve 10 katı olmak üzere seçilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyonlara ait hassasiyet ve süreler ait sonuçlar sırasıyla Şekil 21 ve Şekil 22'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere zaman adım aralığının yükselmesi hassasiyetten uzak sonuçlar vermektedir. Bunun nedeni zaman adım aralığının büyümesi ile kütle orantısal olarak çözümde artırılmaktadır. Bu nedenle de deneysel sonuçlar yakalanamamaktadır. Hesaplanan değer ve 1/5 ölçeği sonuçlarında ise hassasiyet açısından belirgin bir fark gözlemlenmemiştir. Bu nedenle sürelerin incelenmesi sonucunda zaman adım aralığının hesaplandığı şekilde 1/1 ölçeğinde kullanılmasına karar verilmiştir.

ZAMAN ADIM ARALIĞI

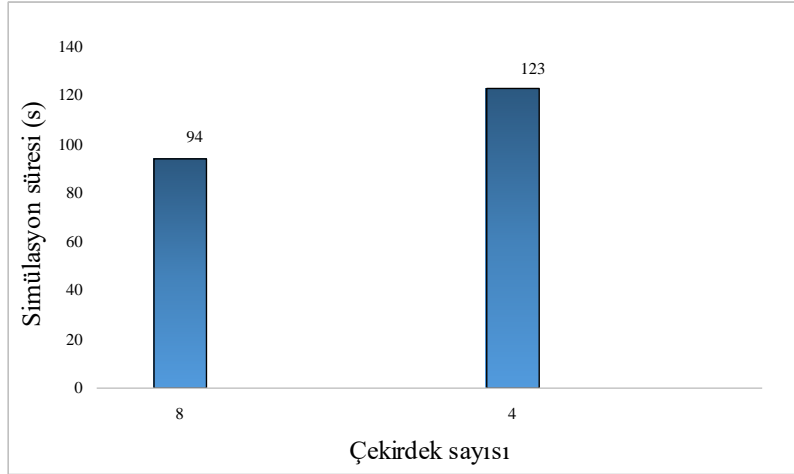


Şekil 21. Zaman adım aralığı ölçeğine göre kuvvet-strok eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 22. Zaman adım aralığı ölçeğine göre simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

Yapılan iyileştirmeler sonrasında simülasyon süresinin 123 saniyeye kadar indirildiği ve hassasiyetin değişmediği görülmektedir. Çalışmada son adım olarak bilgisayar gücünün etkisini irdelemek adına süresi minimize edilmiş simülasyon bir de 8 çekirdekli bir bilgisayarda çözülmüştür. Her iki durum için süre karşılaştırması Şekil 23'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere çekirdek sayısının artması ile birlikte simülasyon süresi 94 saniye seviyesine indirilmiştir.



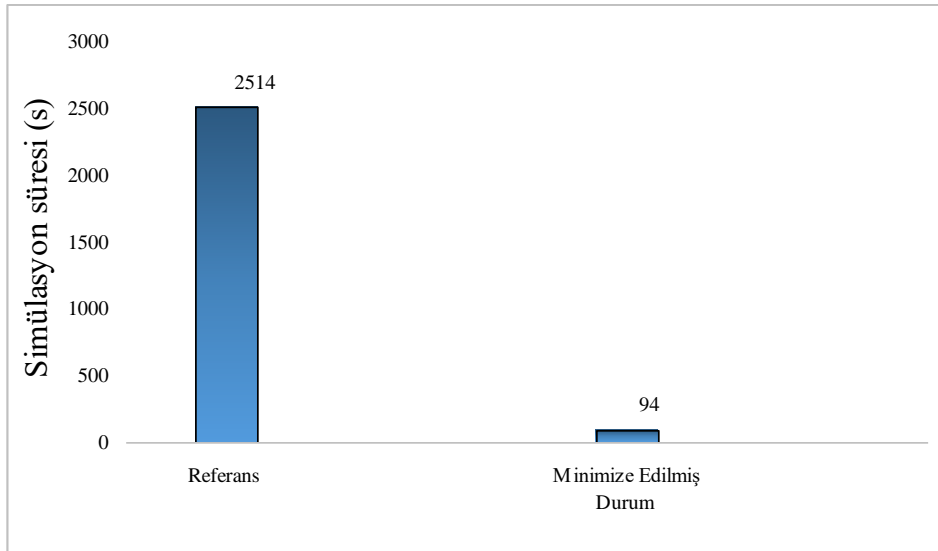
Şekil 23. Bilgisayar çekirdek sayısına göre simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada sac metal sonlu elemanlar analizlerinde hassasiyet ve simülasyon süresine hesaplama parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, sac metal şekillendirme proseslerinden kare kutu çekme prosesi analiz edilmiş olup malzeme olarak gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerden TRIP600 çeliği kullanılmıştır. Kare kutu çekme prosesinde deneysel şekillendirme kuvveti-kalıp stroğu eğrisi referans alınarak hesaplama parametrelerinin tahmin hassasiyeti üzerine etkileri irdelenmiştir. Hassasiyetten ödün vermeden simülasyon süresini kısaltmak amacı ile simülasyon süreleri de inceleme kapsamına alınarak aynı hassasiyette daha kısa sürede çözüm veren parametreler tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar hesaplama parametresi olarak, simetri durumu, eleman boyutu, şekillendirme hızı, malzeme modeli, ağ adaptasyon derecesi, eleman formülasyonu, integrasyon nokta sayısı, zaman adım aralığı ve sonlu elemanlar analizlerinin gerçekleştirildiği bilgisayar çekirdek sayısı kullanılmıştır. Her bir hesaplama parametresi için bir değer kümesi belirlenmiş ve her bir değer için simülasyonlar gerçekleştirilerek hassasiyet ve süre açısından etkileri incelenmiştir.

İlk parametre olarak kalıp takımının simetri durumu incelendiğinde hassasiyet açısından simetri durumunun bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Süre açısından bakıldığında ise en etkin parametrenin simetri durumu olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda tam model, yarı model ve çeyrek model seçeneklerinden en kısa sürede çözüm veren çeyrek model tercih edilmiştir. Eleman boyutu açısından sonuçlar değerlendirildiğinde eleman boyutundaki artışın simülasyon süresini kısalttığı fakat hassasiyete negatif etki ettiği görülmüştür. Bu nedenle eleman boyutu hassasiyet açısından kritik bulunmuş ve 1 mm olarak belirlenmiştir. Hesaplama parametrelerinden şekillendirme hızına bakıldığında yüksek hızlarda çözümün süre açısından kısaltıldığı fakat 5000 mm/s seviyelerinde

tahmin açısından deneysel sonuçlardan uzaklaştığı görülmüştür. Bu nedenle deneysel sonuca en fazla yaklaşan ve en kısa sürede çözüm veren 2000 mm/s değeri şekillendirme hızı olarak seçilmiştir. Sonraki adımda malzemenin plastik davranışını tanımlayan malzeme modelleri incelenmiş bu kapsamda da Power Law, Hill-48, Barlat-89 ve Yoshida-Uemori modelleri kullanılmıştır. Bu modellerden Barlat-89 modeli başarılı bir tahmin gerçekleştirememiştir. Barlat-89 modelinin alüminyum malzemeler için daha başarılı tahminler gerçekleştirdiği literatürdeki çalışmalardan bilinmektedir [34]. TRIP600 gibi gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler açısından etkin bir tahmin sağlanamamıştır. Yoshida-Uemori modelinde ise deneysel sonucun maksimum kuvvet değerine en yakın tahmin gerçekleştirilse de zamana bağlı değişim açısından deneysel sonuçlarla aynı eğim yakalanamamıştır. Bu nedenle malzeme modeli olarak en hassas ve en kısa sürede sonucun elde edildiği Hill-48 modelinin kullanımı tercih edilmiştir. Bir diğer parametre olarak ağ adaptasyon derecesi incelendiğinde ağ adaptasyon seviyesinin hassasiyet açısından belirgin bir avantajının bulunmadığı görülmüş olup, süre açısından en optimum yaklaşımı veren durumun ağ adaptasyonunun kullanılmadığı durum olduğu tespit edilmiştir. Elemanların hesaplama tekniğini temsil eden eleman formülasyonu ve integrasyon nokta sayıları açısından bir değerlendirme yapıldığında her iki parametredeki değişimin hassasiyete belirgin bir etkisi görülmemiştir. Bu nedenle bu parametrelerden süre açısından avantaj sağlayan değerlerin kullanımı tercih edilmiştir. Bu nedenle eleman formülasyonu olarak Belytschko-Tsay ve integrasyon nokta sayısı olarak 3 seçilmiştir. Bir diğer önemli parametre olarak zaman adım aralığının etkisi irdelenmiştir. Bu kapsamda zaman adım aralığının artmasının simülasyon süresini oldukça kısalttığı görülmüştür. Fakat hassasiyet açısından deneysel sonuçlardan oldukça uzak tahminler gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni zaman adım aralığının artışına paralel olarak sistemde sac metal kütlelerinin artırılmasıdır. Son olarak çözümlerin gerçekleştirildiği bilgisayarın çekirdek sayısı incelenmiştir. Bu kapsamda belirlenen parametrelerle 4 çekirdekli ve 8 çekirdekli bilgisayarlarda çözümler gerçekleştirilmiştir. Bu durumda ise yaklaşık %25 oranında bir süre kazancı sağlanmıştır. Genel tablonun değerlendirilmesinin yapılabilmesi adına başlangıçta gerçekleştirilen simülasyon süresi ile hesaplama parametrelerinin değerlendirilmesi sonrasında elde edilen minimize edilmiş durumun karşılaştırması Şekil 24'te görülmektedir.



Şekil 24. Başlangıç simülasyonu ve minimize edilmiş durumların simülasyon süresi açısından değerlendirilmesi

Şekilden de görüldüğü üzere hesaplama parametrelerinin simülasyon süresi üzerine belirgin bir etkisi mevcuttur. Bu nedenle doğru parametrelerle çalışılması simülasyon hassasiyetinden ödün vermeden simülasyon süresinin verimli bir şekilde azaltılmasına imkan sağlamaktadır. Özellikle seri imalatın hakim olduğu endüstriler açısından simülasyon sürelerinin verimli kullanılması oldukça önemlidir.

Kaynakça

- [1] Wang, C., Zhang, X., Shen, G., & Wang, Y. (2019). One-step inverse isogeometric analysis for the simulation of sheet metal forming. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*.
- [2] Candra, S., Batan, I. M. L., Berata, W., & Pramono, A. S. (2015). Analytical study and FEM simulation of the maximum varying blank holder force to prevent cracking on cylindrical cup deep drawing. *Procedia Cirp*, 26, 548-553.
- [3] Qin, S. J., Xiong, B. Q., Hong, L. U., & Zhang, T. T. (2012). Critical blank-holder force in axisymmetric deep drawing. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, s239-s246.
- [4] Baffari, D., Buffa, G., Ingarao, G., Masnata, A., & Fratini, L. (2019). Aluminium sheet metal scrap recycling through friction consolidation. *Procedia Manufacturing*, 29, 560-566.
- [5] Seshacharyulu, K., Bandhavi, C., Naik, B. B., Rao, S. S., & Singh, S. K. (2018). Understanding Friction in sheet metal forming-A review. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 18238-18244.
- [6] Zhang, Q. F., Cai, Z. Y., Zhang, Y., & Li, M. Z. (2013). Springback compensation method for doubly curved plate in multi-point forming. *Materials & Design*, 47, 377-385.
- [7] Dahale, P. S., Pawar, P. D., & Patil, V. G. (2018). Assessment of Boundary Conditions for FEA of Mounting Bracket Using Correlation with Experimental Results. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 13290-13300.

- [8] He, B., Yang, W., & Liu, F. (2019). The material parameter design and finite element simulation of the quadrilateral thermal cloak device. *Applied Mathematics Letters*, 94, 99-104.
- [9] Chen, K., Ma, H., Che, L., Li, Z., & Wen, B. (2019). Comparison of meshing characteristics of helical gears with spalling fault using analytical and finite-element methods. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 121, 279-298.
- [10] Macneal, R. H., & Harder, R. L. (1985). A proposed standard set of problems to test finite element accuracy. *Finite elements in analysis and design*, 1(1), 3-20.
- [11] Ewing, R. E., Lin, T., & Lin, Y. (2002). On the accuracy of the finite volume element method based on piecewise linear polynomials. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 39(6), 1865-1888.
- [12] Dawson, P. R., & Marin, E. B. (1997). Computational mechanics for metal deformation processes using polycrystal plasticity. In *Advances in applied mechanics* (Vol. 34, pp. 77-169). Elsevier.
- [13] Chun, B. K., Jinn, J. T., & Lee, J. K. (2002). Modeling the Bauschinger effect for sheet metals, part I: theory. *International Journal of Plasticity*, 18(5-6), 571-595.
- [14] Habraken, A. M. (2004). Modelling the plastic anisotropy of metals. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 11(1), 3-96.
- [15] Xue, L., & Wierzbicki, T. (2008). Ductile fracture initiation and propagation modeling using damage plasticity theory. *Engineering Fracture Mechanics*, 75(11), 3276-3293.
- [16] Godest, A. C., Beaugonin, M., Haug, E., Taylor, M., & Gregson, P. J. (2002). Simulation of a knee joint replacement during a gait cycle using explicit finite element analysis. *Journal of biomechanics*, 35(2), 267-275.
- [17] Maker, B. N., & Zhu, X. (2000). Input parameters for metal forming simulation using LS-DYNA. *Livermore Software Technology Corporation*, 4, 43-46.
- [18] Carson, Y., & Maria, A. (1997, December). Simulation optimization: methods and applications. In *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation* (pp. 118-126). IEEE Computer Society.
- [19] Swisher, J. R., Hyden, P. D., Jacobson, S. H., & Schruben, L. W. (2000). A survey of simulation optimization techniques and procedures. In *2000 Winter Simulation Conference Proceedings* (Cat. No. 00CH37165) (Vol. 1, pp. 119-128). IEEE.
- [20] Wang, J. (2001). Simulation of landmine explosion using LS-DYNA3D software: benchmark work of simulation of explosion in soil and air (No. DSTO-TR-1168). *Defence science and technology organisation canberra* (Australia).
- [21] Wang, L., Basu, P. K., & Leiva, J. P. (2004). Automobile body reinforcement by finite element optimization. *Finite Elements in Analysis and Design*, 40(8), 879-893.
- [22] Parthasarathy, V. N., & Kodiyalam, S. (1991). A constrained optimization approach to finite element mesh smoothing. *Finite Elements in Analysis and Design*, 9(4), 309-320.
- [23] Crawford, R. P., Rosenberg, W. S., & Keaveny, T. M. (2003). Quantitative computed tomography-based finite element models of the human lumbar vertebral body: effect of element size on stiffness, damage, and fracture strength predictions. *Journal of biomechanical engineering*, 125(4), 434-438.
- [24] Elmarakbi, A. M., Hu, N., & Fukunaga, H. (2009). Finite element simulation of delamination growth in composite materials using LS-DYNA. *Composites Science and Technology*, 69(14), 2383-2391.
- [25] Hughes, T. J., Liu, W. K., & Zimmermann, T. K. (1981). Lagrangian-Eulerian finite element formulation for incompressible viscous flows. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 29(3), 329-349.
- [26] Belytschko, T., Lin, J. I., & Chen-Shyh, T. (1984). Explicit algorithms for the nonlinear dynamics of shells. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 42(2), 225-251.
- [27] *Ls-Dyna Theoretical Manual*. (1998). *Livermore Software Technology Corporation*.
- [28] Mete, O. H. (2007). Sac levhaların şekillendirilebilirliğine etki eden değişkenliklerin incelenmesi. *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi*.
- [29] Holloman, J. H. (1945). Tensile Deformation, *Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers*, 162:268-290.
- [30] Hill, R. (1948). A theory of the yielding and plastic flow of anisotropic metals, *Proc. Roy. Soc. London*, 281-297.
- [31] Barlat, F., Lian, J. (1989). Plastic behaviour and stretchability of sheet metals (Part I): A yield function for orthotropic sheet under plane stress conditions, *International Journal of Plasticity*, 5:51-56.
- [32] Yoshida, F., & Uemori, T. (2002). A model of large-strain cyclic plasticity describing the Bauschinger effect and workhardening stagnation. *International journal of plasticity*, 18(5-6), 661-686.
- [33] Akpınar, M., Esener, E., Ercan, S., Özsoy, M., & Fırat, M. (April-2012) Trip600 Çeliğinin Kare Kesit Çekilebilirliğinin Sonlu Elemanlar Tahmini. In *proceedings of International Iron & Steel Symposium, Karabük, Turkey*.
- [34] Harpell, E. T., Worswick, M. J., Finn, M., Jain, M., & Martin, P. (2000). Numerical prediction of the limiting draw ratio for aluminum alloy sheet. *Journal of Materials Processing Technology*, 100(1-3), 131-141.



A Review Study on the Using of Diethyl Ether in Diesel Engines: Effects on HC Emissions

İsmet Sezer^{1*}

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7342-9172)

(First received 13 March 2019 and in final form 6 May 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.539318)

ATIF/REFERENCE: Sezer, İ. (2019). A Review Study on the Using of Diethyl Ether in Diesel Engines: Effects on HC Emissions. *European Journal of Science and Technology*, (16), 109-124.

Abstract

This study was compiled from the results of various researches performed on using diethyl ether as a fuel or fuel additive in diesel engines. Three different methods have been used the reduction of the harmful exhaust emissions of diesel engines. The first technique for the reduction of harmful emissions has improved the combustion by modification of engine design and fuel injection system, but this process is expensive and time-consuming. The second technique is the using various exhaust gas devices like catalytic converter and diesel particulate filter. However, the use of these devices affects negatively diesel engine performance. The final technique to reduce emissions and improve diesel engine performance is the use of various alternative fuels or fuel additives. The major pollutants of internal combustion engines are carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x), particulate matter (PM) and smoke. The most researches declare that the best way to reduce is the use of various alternative fuels i.e. natural gas, biogas, biodiesel or using additives with alternative fuels or conventional fuels. Therefore, it is very important that the results of various studies on alternative fuels or fuel additives are evaluated together to practical applications. Especially, this study focuses on the use of diethyl ether in diesel engines as fuel or fuel additive in various diesel engine fuels. This review study investigates the effects of diethyl ether additive on the HC emissions.

Keywords: Diesel engine performance, Diethyl ether, Fuel additives, HC emissions.

1. Introduction

Diesel engines are widely used in both light and heavy-duty vehicles [1]. They are reliable, robust and the most efficient internal combustion engines [2]. However, diesel engines suffer from their high emission drawbacks like particulate matters (PM), total gaseous hydrocarbons (THC), nitrogen oxides (NO_x), sulphur oxides (SO_x) and smoke [3, 4]. It is seems that the most suitable way to reduce of these emissions is the using of alternative fuels made from renewable sources instead of commercial fuels [5]. However, complete replacement of fossil fuels with renewable alternative fuels will require a comprehensive modification of the engine hardware and their combustion in the engine results in operational and technical limitations [6]. The fuel side modification techniques such as blending, emulsification and oxygenation are the easy way for emission reduction without any modification on the engine hardware. Modification of diesel fuel to reduce exhaust emission can be performed by increasing the cetane number, reducing fuel sulphur, reducing aromatic content, increasing fuel volatility and decreasing the fuel density to have the compromise between engine performance and engine-out emissions, one such change has been the possibility of using diesel fuels with oxygenates [7]. Among different alternative fuels, oxygenated fuel is a kind of alternative fuel. Diethylene glycol dimethyl ether (DGM), dimethoxy methane (DMM), dimethyl ether (DME), methyl tertiary butyl ether (MTBE), dibutyl ether (DBE), dimethyl carbonate (DMC), methanol, ethanol and diethyl ether (DEE) have played their role to reduce diesel emissions [7-9]. These fuels can either be used as a blend with conventional diesel fuel or pure. These additives can also be used in combination with biodiesel [10]. The presence of oxygen in the

¹ Sorumlu Yazar: Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7342-9172, isezer@gumushane.edu.tr

fuel molecular structure plays an important role to reduce PM and other harmful emissions from diesel engines. However, NO_x emissions can be reduced in some cases and be increased depending on the engine operating conditions [11, 12]. Especially, DEE is a suitable fuel for diesel engines because it is a cetane improver besides an oxygenated fuel [13]. Therefore, this review study is devoted to the use of DEE in diesel engines as fuel or fuel additive in various diesel engine fuels.

2. Properties of Diethyl Ether

Diethyl ether is the simplest ether expressed by its chemical formula CH₃CH₂-O-CH₂CH₃, consisting of two ethyl groups bonded to a central oxygen atom as seen in Fig. 1.

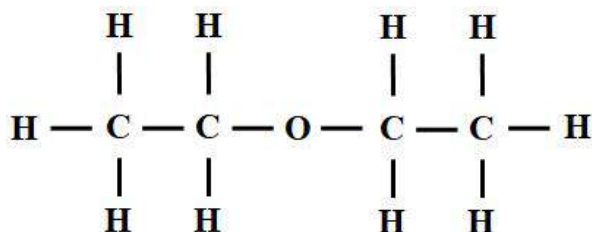


Fig. 1. Diethyl ether chemical composition [3]

Diethyl ether (DEE) is regarded as one of the promising alternative fuels or an oxygen additive for diesel engines with its advantages of a high cetane number and oxygen content. DEE is liquid at the ambient conditions, which makes it attractive for fuel storage and handling. DEE is produced from ethanol by dehydration process as seen in Fig. 2 so it is a renewable fuel [14].

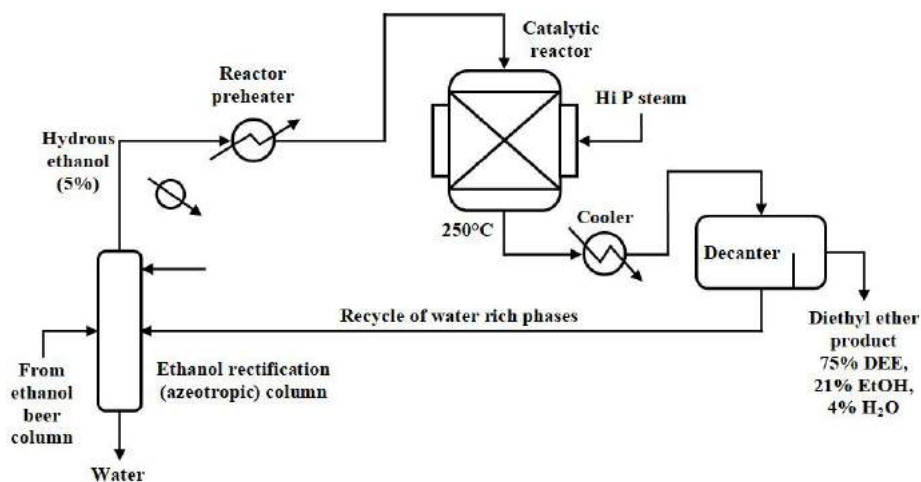


Fig. 2. Production of diethyl ether from ethanol [14]

As shown in Table 1, DEE has several favorable properties, including exceptional cetane number, reasonable energy density, high oxygen content, low autoignition temperature and high volatility. Therefore, it can be assisting in improving of engine performance and reducing the cold starting problem and emissions when using as a pure or an additive in diesel engines [14, 15]. There are some challenges with DEE such as storage stability, flammability limits and lower lubricity. Storage stability of DEE and DEE blends are of concern because of a tendency to oxidize, forming peroxides in storage. It is suggested that antioxidant additives may be available to prevent storage oxidation. Flammability limits for DEE as seen in Table 1 are broader than those of many fuels, but the rich flammability limit of DEE is in question [14].

Table 1. The main fuel properties of diesel fuel and DEE [15]

Property	Diesel	DEE
Chemical formula	C _x H _y	C ₄ H ₁₀ O
Molecular weight	190-220	74
Density of liquid at NTP* (kg/L)	~0.84	0.71
Viscosity at NTP* (cP)	2.6	0.23
Oxygen content (wt %)	-	21
Sulphur content (ppm)	~250	-
Boiling temperature (°C)	180-360	34.6
Autoignition temperature in air (°C)	315	160
Flammability limit in air (vol %)	0.6-6.5	1.9-9.5
Stoichiometric air-fuel ratio (AFR _s)	14.6	11.1
Heat of vaporization at NTP* (kJ/kg)	250	356
Lower heating value (MJ/kg)	42.5	33.9

3. Studies on Diethyl Ether in Literature

There are several studies in the literature on the use DEE in diesel engines as a fuel or fuel additive in various diesel engine fuels. For example; as pure [16], with diesel fuel [17-32], with diesel-ethanol blends [33-40], with diesel-ferric chloride blends [41], with diesel-kerosene blends [42], with diesel-acetylene gas dual fuel [43], with biogas [44], with liquefied petroleum gas [45], with diesel-natural gas dual fuel [46], with ethanol [47, 48], with various biodiesel fuels [49-68], with biogas-biodiesel blends [69], with water-biodiesel emulsion fuel [70], with various biodiesel-diesel blends [71-109], with ethanol-biodiesel-diesel blends [110-113] and methanol-biodiesel-diesel blends [113].

4. Effects of Diethyl Ether on HC Emissions

Rakopoulos et al [17] declared that HC emitted by all DEE-diesel blends was higher than diesel fuel, with the increase being higher the higher the percentage of DEE in the blend as seen in Fig. 3(a). The formation of unburned hydrocarbons originated from various sources in the engine cylinder. The higher heat of evaporation of the DEE blends causing slower evaporation and so slower and poorer fuel-air mixing, the increased spray duration causing unwanted fuel impingement on the combustion chamber walls and so flame quenching and mainly the increase of the so called 'lean outer flame zone' where flame is unable to exist. The latter one refers to the envelop of the spray boundary where the fuel has already mixed beyond the lean flammability limit during the ignition delay period and, thus, will not be able to auto-ignite or sustain a fast reaction front. Its effect is stronger the higher the ignition delay, as it is actually the present case with the DEE blends possessing increased ignition delays. Banapurmath et al [22] declared that HC is partially burned and unburned fuel emission. The variation of HC with load for different percentage of DEE blends was given in Fig. 3(b). HC emissions reduced with increased DEE concentration in diesel fuel while they increased with increased loading conditions.

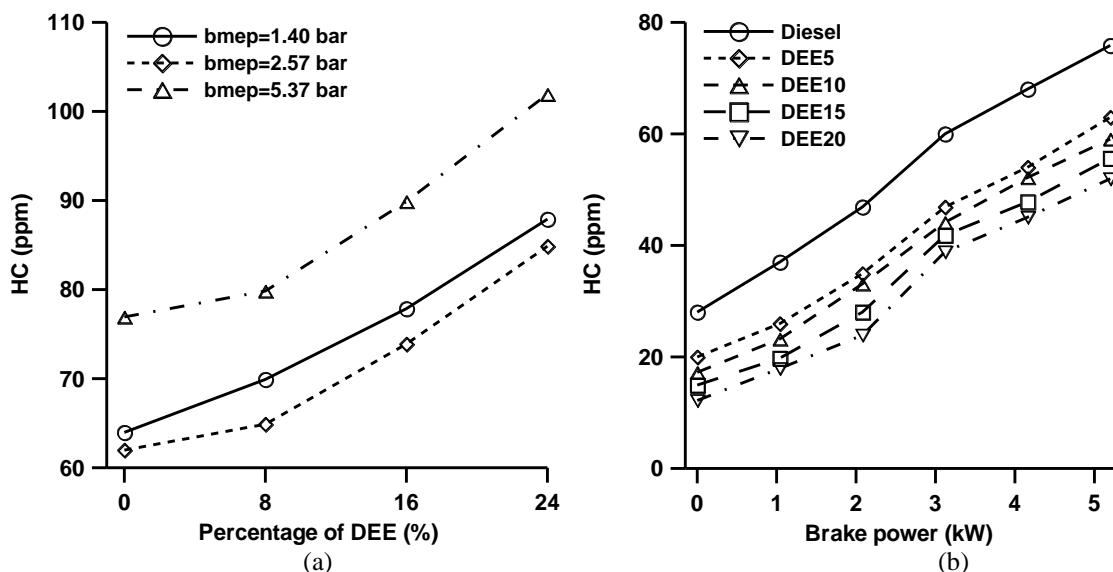
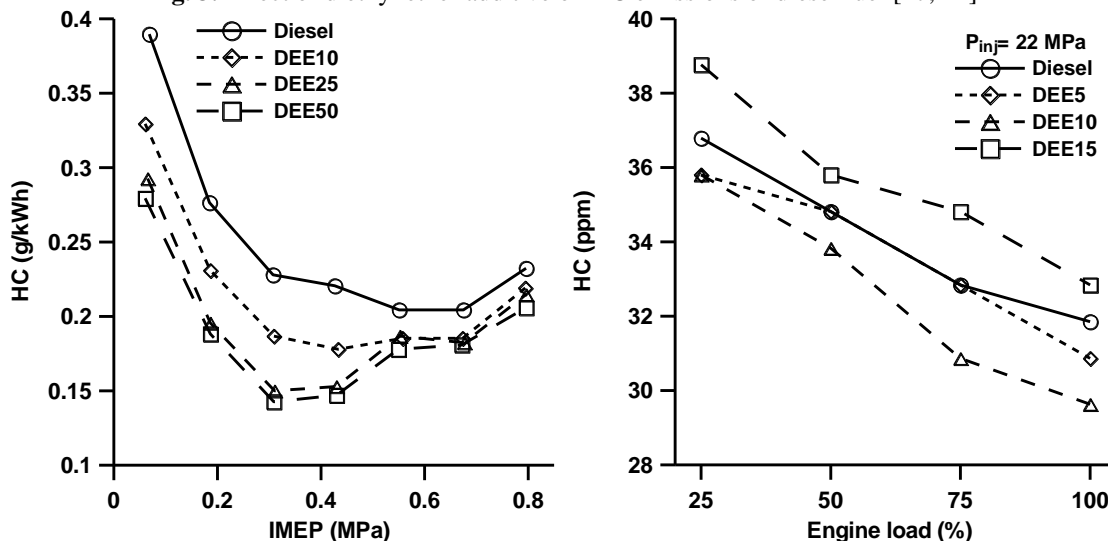


Fig. 3. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of diesel fuel [17, 22]



(a) (b)

Fig. 4. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of diesel fuel [23, 29]

Lee and Kim [23] declared that HC emissions for DEE blends were lower than pure diesel especially for lower engine loads, and they decreased with increasing in DEE content in the blends as seen in Fig. 4(a). Over-leaning of fuel injected during the ignition delay period is a significant source of hydrocarbon emissions, especially under low engine load conditions where the ignition delay is long. As the autoignitability of DEE is significantly better than diesel, DEE exhibited a shorter ignition delay period, resulting in better combustion and a decreased HC for the DEE blends. Another reason for the low HC observed for the blends was that the higher oxygen content in the blends helped to combust the unburned fuel in the combustion chamber during the diffusion flame phase. Saravanan et al [24] declared that HC emissions increased with the addition of DEE. DEE has a higher cetane number (~125) but when blended with diesel its cetane number decreased and ignition delay period prolonged. The higher ignition delay period formed more HC emissions. The reduction in peak cylinder temperature might also contribute to the increase of HC emissions. Madhu et al [29] declared that HC emissions produced by DEE blends were more than the diesel fuel as seen in Fig. 4(b). There was 30% increase in HC emission with DEE15 at 20MPa pressure and as the injection pressure increases, HC emission increased with addition of DEE to diesel. This was due to the high latent heat of vaporization of DEE which tended to produce slow vaporization and mixing of fuel and air along with rare availability of oxygen at full load conditions led to incomplete combustion.

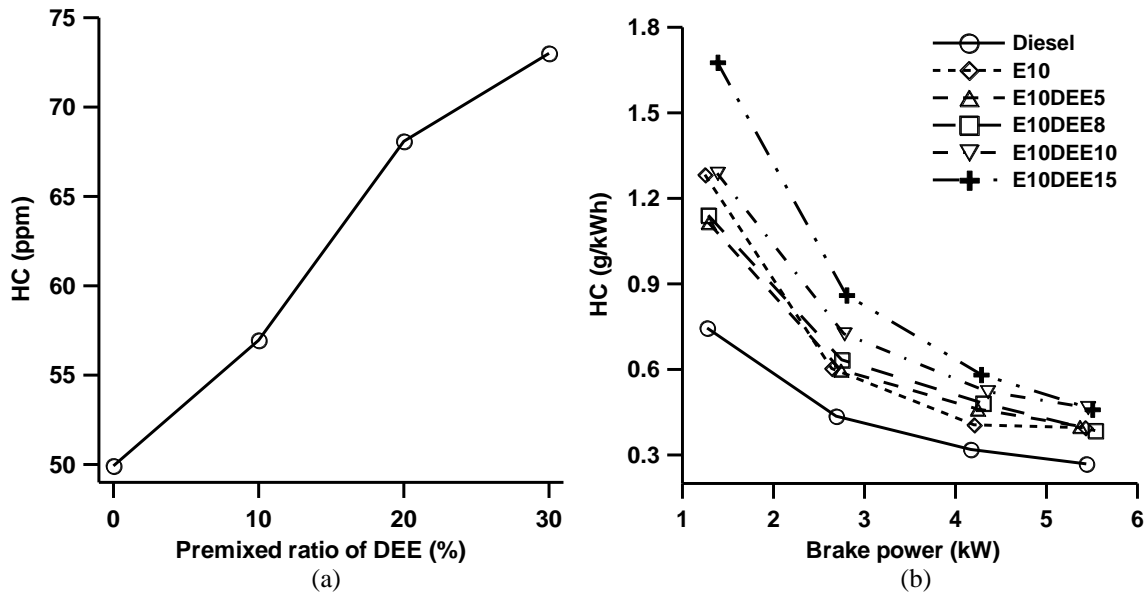


Fig. 5. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of diesel fuel [32] and ethanol-diesel blends [33]

Cinar et al [32] declared that HCCI engines generally suffer from higher CO and HC emissions. HC emissions were increased with increasing of DEE premixed ratio under HCCI-DI operating conditions, compared to neat diesel as seen in Fig. 5(a). During the compression period, the premixed fuel charge trapped in the cylinder crevices influenced the increase in HC emissions. HC emissions were increased by 44% with the premixed ratio of 30% compared to neat diesel operation. Iranmanesh [33] declared that HC emissions had a moderate increase for the ethanol and all DEE additions to the diesel fuel at higher loads but it increased marginally at lower loads as seen in Fig. 5(b). This could be explained by the lower oxygen concentration in the blends and incomplete combustion at lower loads. Further, by increasing load the injected fuel and consequently oxygen content was increased as well as peak temperature of gas inside the cylinder and hence the higher the load the larger oxidation of the products and the lower the HC emissions. The increase of HC with the addition of DEE as well as ethanol may due to the following reasons. First was the higher heat of evaporation of the ethanol or DEE in the blends which tended to produce slow vaporization and poorer fuel-air mixing which leading to incomplete combustion of the fuel-air mixture. Another reason was the increased spray penetration causing undesired fuel impingement on the chamber walls and so flame quenching and cushioning in the ring land areas. The third was related to the so-called 'lean flame out region'. This region was referred to a region near the outer edge of the spray in which, the mixture was often observed to be too lean to ignite or to support stable combustion. Lower temperatures and pressures extended this region and increased HC. The optimum selected blend as E10DEE8 had the lowest level of HC emission at full load condition. Sudhakar and Sivaprakasam [35] declared that HC emissions were increased for E15 by 5% as seen in Fig. 6(a). The addition of DEE at 10 and 20 percent by injection at full load condition resulted in increase of HC emissions by 8% and 22% respectively. However, HC emissions are increased marginally at initial and mid level loads due to higher heat of evaporation of ethanol into diesel caused slower the process of fuel evaporation led the unburned hydrocarbon increased at initial loads. When the lower heat of evaporation fuel DEE injected induced the process earlier than diesel resulted in decreases of HC at high level loads. Sudhakar and Sivaprakasam [36] declared that the increasing percentage of DEE injection resulted marginal increase in HC emission. The exhaust gas recirculation (EGR) system further increased the HC emissions marginally at low load conditions. Paul et al [37] declared that diesel-DEE blends produced lower HC emission than diesel. This reduction in HC emission might have happened because of the improved combustion condition due to the release of molecular oxygen of DEE in comparison to baseline diesel. DEE5 blend reduced the HC emissions between 30.66-40.56%, whereas DEE10 blend reduced the HC emission between 49.23-60.83% at different load conditions. This

reduction was also an indication that the increasing oxygenated content of fuel helped in reduction of HC emission. Addition of ethanol to the DEE blends further reduced the HC emission as seen in Fig. 6(b). It was found that 5 and 10% ethanol addition to diesel-DEE blends reduced the HC emission in a significant manner. DEE5E5 and DEE5E10 blends produced 90.13% and 80.481% less hydrocarbon than baseline diesel, whereas DEE10E5 and DEE10E10 blends produced a maximum reduction of 84.33% and 91.12%. These decreases were due to better combustion of the charge.

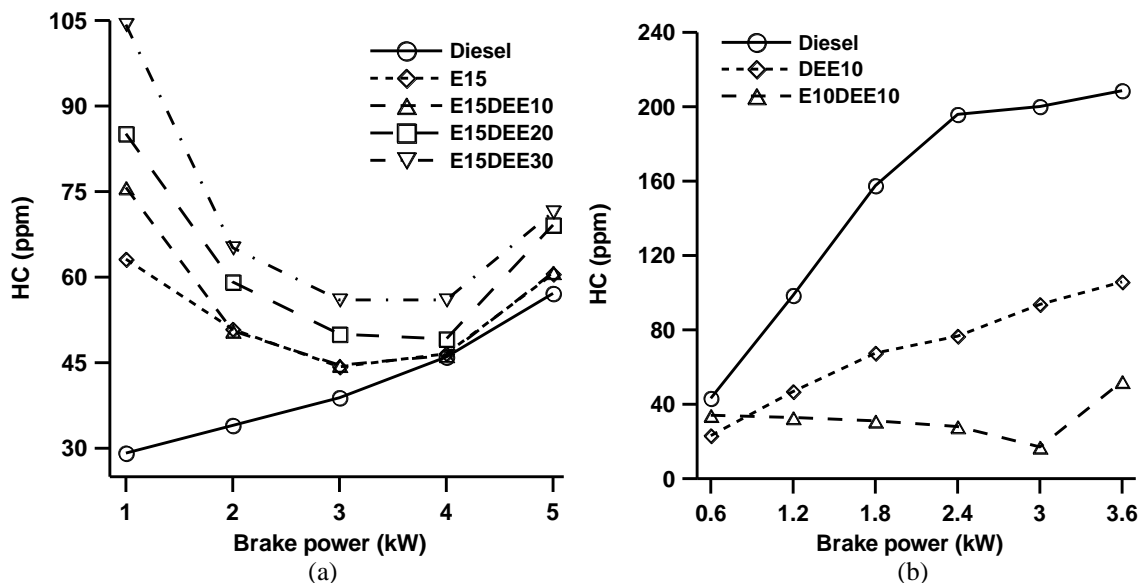


Fig. 6. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of ethanol-diesel blends [35, 37]

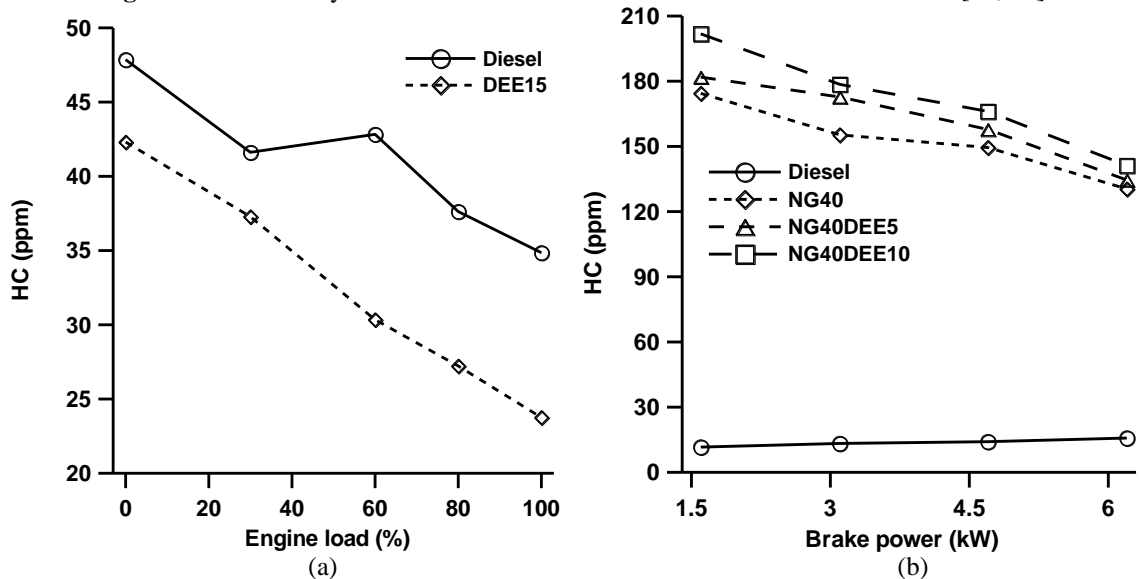


Fig. 7. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of diesel [41] and natural gas-diesel dual fuel [46]

Patnaik et al [41] declared that HC emission was lowered with DEE15 blend by about 42% compared to that of diesel as seen in Fig. 7(a). The low boiling point and high cetane number of DEE gave an advanced start of combustion, leading to increase in combustion gas temperature at earlier stage of combustion and rapidly reached the activation temperature of carbon combustion. This improved oxidization of the hydrocarbon fuels, leading to better combustion with a reduction in HC emission. Karabektas [46] declared that the use of natural gas as a dual fuel (NG40) caused a considerable increase in the HC emissions compared with diesel fuel. One of the reasons of this increase was the escape of natural gas through the exhaust port during valve overlap. Moreover, low cylinder temperatures and pressures at particularly low engine loads deteriorated the combustion, thus yielding high HC emissions. Lower charge temperature with natural gas usage led to slower combustion and higher HC emissions. The use of DEE led to higher HC emissions in comparison to the use of NG40 as seen in Fig. 7(b). It was seen from the figure that the highest HC emissions were obtained with NG40DEE10. The increase in HC emissions with the use of DEE could be attributed to the leakage of the fuel through the injector nozzle due to the considerably low viscosity of the fuel. DEE additive had a low charge temperature and decreased combustion temperature due to its high heat of evaporation. Additionally, some of the DEE additive mixed with air during fuel injection and accumulated in the ring space between the piston and cylinder. Consequently, the combustion flame cannot effectively reach these spaces, thus yielding high HC emissions. Rakopoulos [50] declared that HC emitted by the DEE blends were higher than those of the neat biodiesel as seen in Fig. 8(a). As known, the formation of unburned hydrocarbons originated from various sources in the engine cylinder. These sources, in the present case, explaining the increased HC emissions with the DEE blends might be the increased spray life causing unwanted fuel impingement on the combustion chamber walls and so flame quenching and mainly the

increase of the so called lean outer flame zone where flame was unable to exist. The latter one referred to the envelop of the spray boundary where the fuel has already mixed beyond the lean flammability limit during the ignition delay period and, thus, will not be able to auto-ignite or sustain a fast reaction front. Krishna et al [53] declared that HC emissions for the DEE blends are higher than those for pure diesel and biodiesel as seen in Fig. 8(b). HC emissions of 25% DEE blend with Karanja oil operation has been found to be 27 ppm as compared to 44 ppm of pure karanja oil and 29 ppm of pure diesel operation respectively at full load. The formation of HC emissions began from various sources in the engine cylinder, but one amongst them was the lesser quantity of oxygen available at higher loads, due to the richer fuel air mixture. Also, some of the fuel might be injected lately during the fuel injection into the combustion chamber due to late atomization, attributed to the higher viscosity of the vegetable oil blends and richer fuel air mixture then the chanced of increase in HC emissions was higher.

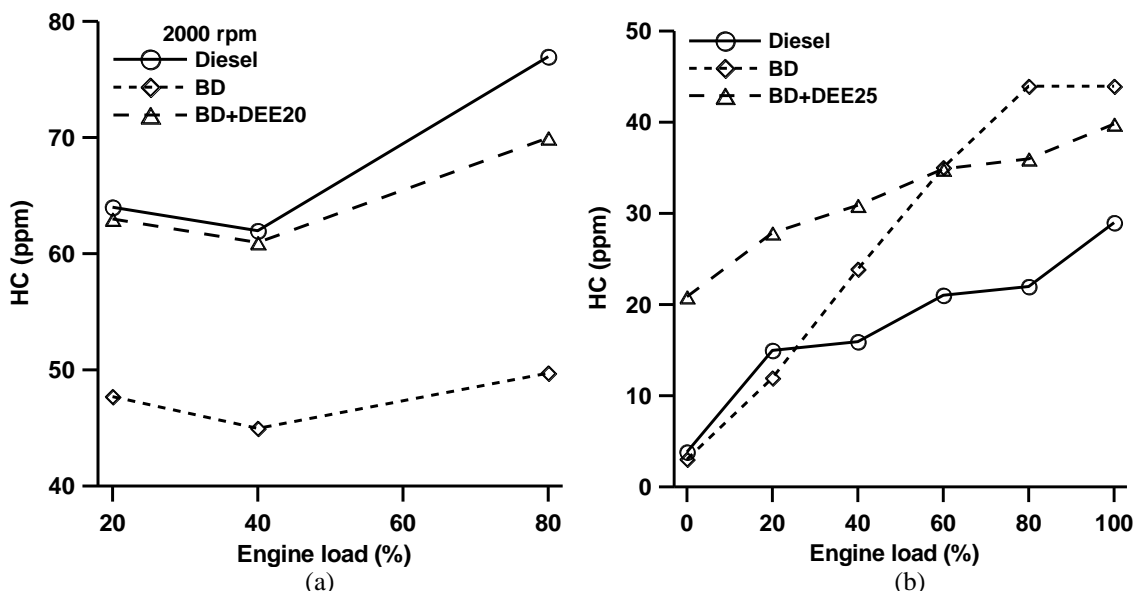


Fig. 8. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel [50, 53]

Sivalakshmi and Balusamy [59] declared that HC emissions for all the fuel blends were higher than biodiesel, with the increase being higher the higher the percentage of DEE in the blend as seen in Fig. 9(a). As known, the formation of unburned HC originates from various sources and varies widely with operating conditions. This could be explained as follows. Firstly, the increase of HC might be due to the higher latent heat of evaporation of diethyl ether causing lower combustion temperature, especially the temperature near the cylinder walls during the mixture formation. In this case more HC was produced from the cylinder boundary. Secondly, it might attribute the late escape into the cylinder of the fuel left in the nozzle sac volume, because with the addition of diethyl ether, this was easier to evaporate and ‘slipped’ into the cylinder. Rajan et al [64] declared that HC emission increased for neat biodiesel and increase of DEE in the blend with neat biodiesel at full load as seen in Fig. 9(b). The maximum HC emissions for 10% and 15% DEE were 41 and 47 ppm, whereas for diesel and neat biodiesel, these were 33 and 38 ppm, respectively, at full load. This increase in HC emission for DEE blends might be due to incomplete combustion at very high loads and low calorific value of DEE, which resulted in higher HC emissions. Also, another reason for HC emission at full load was the high latent heat of vaporization of DEE in cooling the charge at full load conditions.

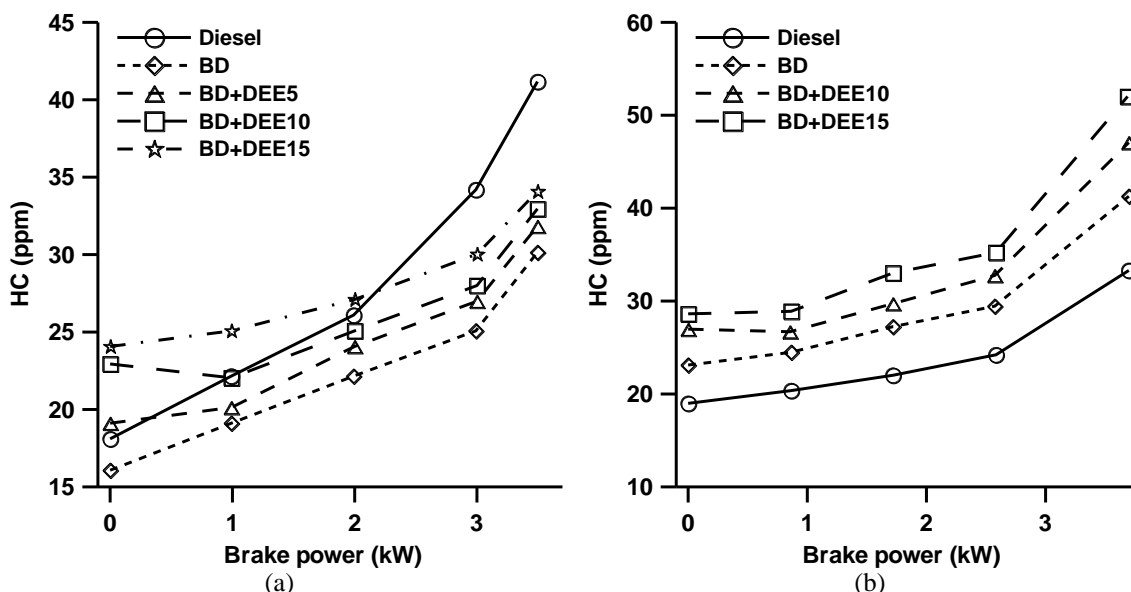


Fig. 9. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel [59, 64]

Geo et al [65] declared that the HC concentration for biodiesel operation showed higher value at all loads in comparison with diesel fuel operation as seen Fig. 10(a). With biodiesel operation HC concentration ranged from 1.6 g/kWh at 25% load to 0.7 g/kWh at 100% load whereas with diesel it ranges from 1 g/kWh to 0.5 g/kWh. This was mainly due to the higher density and viscosity of biodiesel which caused poor mixture formation resulting in partially burned hydrocarbons (incomplete combustion) during combustion process. DEE admission with biodiesel reduced the HC emissions. With 200 g/h of DEE, HC emission varies from 1.1 g/kWh to 0.6 g/kWh. The presence of oxygen and better mixing of DEE with air led to improved combustion rate. Also, the oxygen was more in the combustion process, which increased the efficiency of the oxidation of hydrocarbons in the fuel resulting in reduced hydrocarbons. Hariharan et al [66] declared that biodiesel-DEE operation showed higher values of hydrocarbon emission over the entire range of operation in particular at low loads compared to that of diesel operation as seen in Fig. 10(b). For diesel fuel, HC emission varied from 0.23 g/kWh at low load to 0.06 g/kWh at full load. While operating with biodiesel-DEE at 130 g/h, HC varied from 0.4 g/kWh at low load to 0.07 g/kWh at full load, from 0.5 g/kWh at low load to 0.04 g/kWh at full load with 65 g/h flow rate and from 0.4 g/kWh at low load to 0.05 g/kWh at full load with 170 g/h flow rate. At low loads, the unburnt hydrocarbon (UHC) emission was very high. This might be attributed to the higher quantity of DEE introduced along with intake air in the form of premixed charge. This premixed charge would occupy the crevice volume where the flames would not propagate. In addition the temperature prevailing inside the cylinder at that instance was low. At low loads, the high boiling compounds present in biodiesel might had less chance to breakdown and hence resulted in more HC up to part load operation. Poor mixture formation and lower air entrainment of biodiesel were also the reasons for higher HC emission in biodiesel-DEE operation.

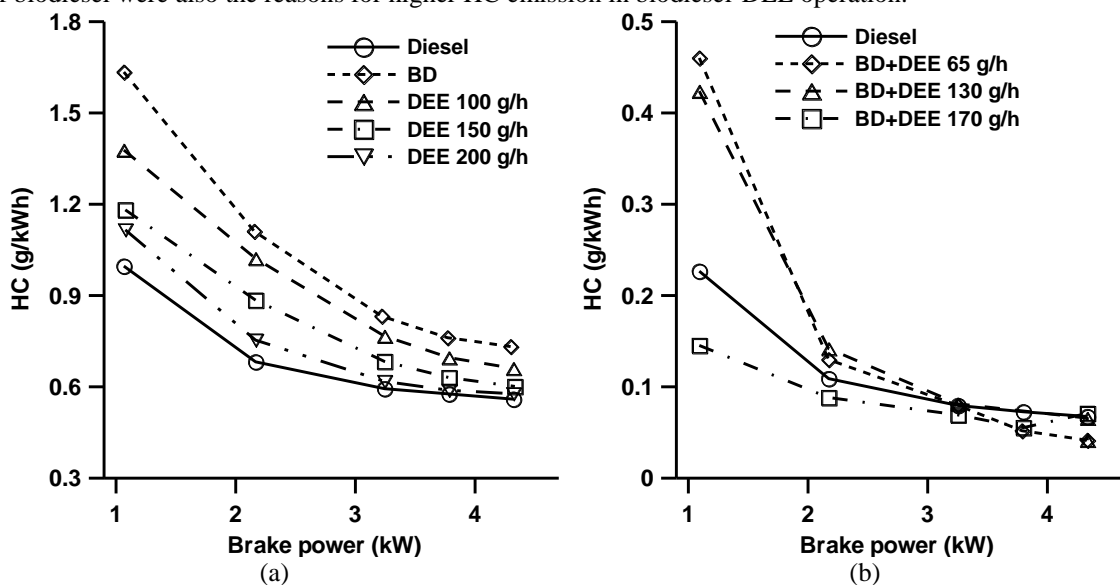


Fig. 10. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel [65, 66]

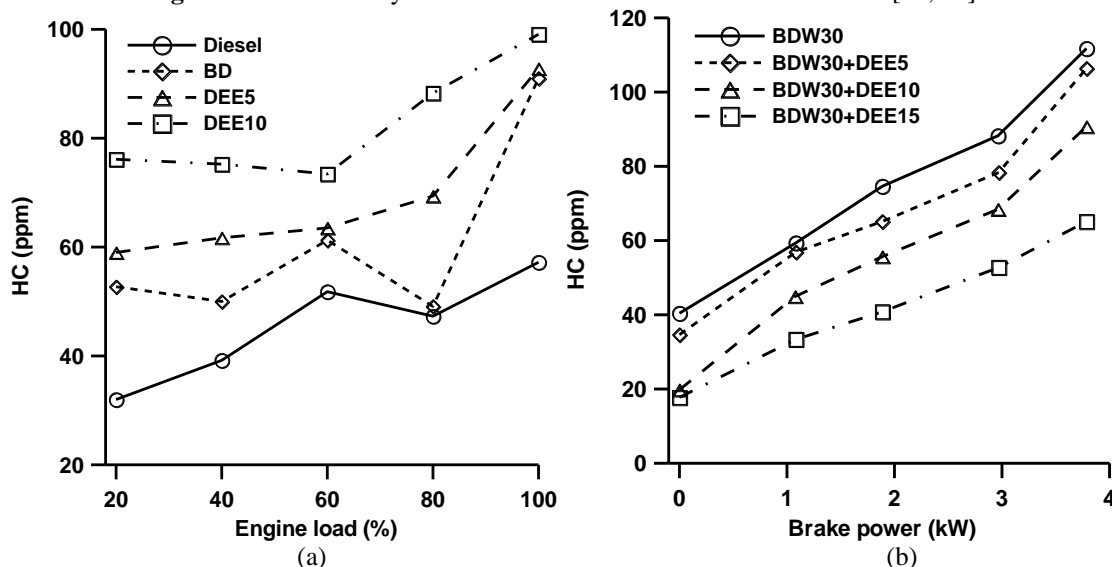


Fig. 11. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel [67] and biodiesel-water emulsified fuel [70]

Devaraj et al [67] declared that the addition of DEE with biodiesel increased the HC emissions than diesel as seen in Fig. 11(a). The reason behind increased HC in biodiesel might be due to higher fumigation rate. The increase in HC emissions with the use of DEE10 could be attributed to the leakage of the fuel through the injector nozzle due to the considerably low viscosity of DEE. DEE additive had a low charge temperature and decreased combustion temperature due to its high heat of evaporation. Additionally, some of the DEE additive mixed with air during fuel injection and accumulated in the ring space between the piston and cylinder. Consequently, the combustion flame could not effectively reach these spaces, thus yielding high HC emissions. Sachuthanathan and Jeyachandran

[70] declared that with neat 30% water biodiesel emulsion HC emission was 112ppm at full load and for 5% DEE addition it reduced to 106ppm and for 10% DEE the HC emission further reduced to 91ppm and for 15% DEE it was only 65ppm at full load condition as seen in Fig. 11(b). This was because as DEE was an oxygenated compound containing 21.6% of oxygen by mass reduced the ignition delay and the effect of water on combustion process reduced, and hence the combustion became more complete and the HC emission reduced. Kumar et al [74] declared that HC emission increased for neat BD20 and it decreased with adding DEE in the BD20 at all load conditions as seen in Fig. 12(a). The percentage increases of HC with respect to diesel and BD20 was 13.33% and percentage decreases of HC with respect to BD20 and BD20DEE15 was 32.35%. This decrease in HC emission for DEE blends due to improper combustion. Ganesh and Chethan [75] declared that HC emission increased with changing load by observing Fig. 12(b). Diesel has maximum HC emission in all load compared with all biodiesel-diesel and DEE blends. Minimum emission is obtained for blend BD10DEE20. Because of biodiesel poor atomizing characteristic is improvising due to DEE properties of reduction in viscosity so that proper combustion results in less unburned HC emission. HC emission for diesel has maximum at all load is 10,12,14,17 and 22 ppm respectively. Minimum emission occurs for BD10DEE20 is 2, 3, 5, 6 and 7 ppm respectively.

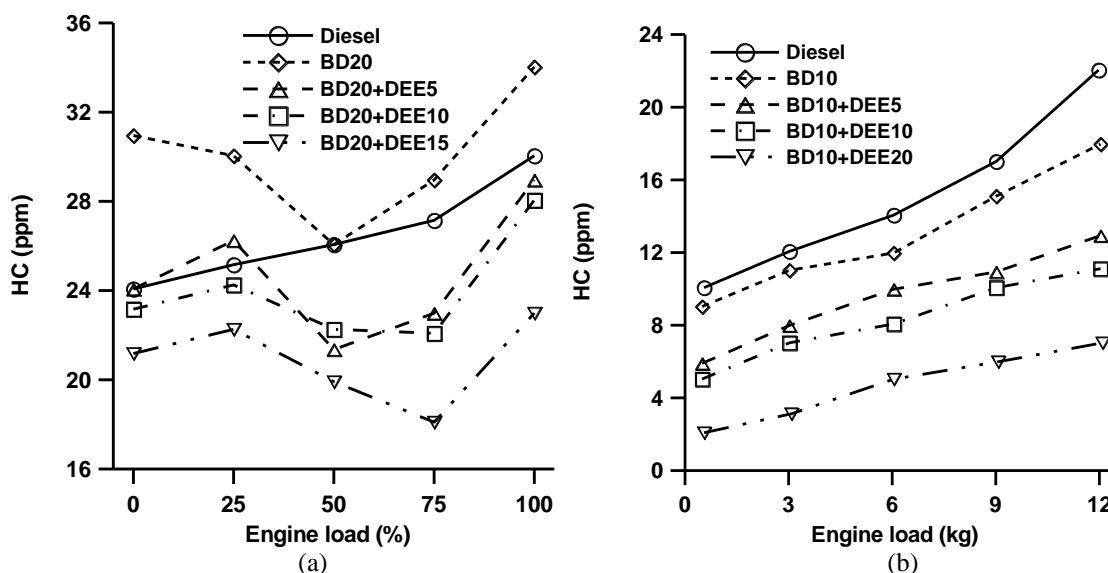


Fig. 12. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel-diesel blends [74, 75]

Srihari et al [76] declared that HC emissions were much higher for BD20 blend than that of diesel fuel for all loads as seen in Fig. 13(a). DEE5 blend has not given a discernible improvement in HC emissions with that of diesel fuel. However, DEE10 and DEE15 are worth considering as the HC emissions are fairly low in the two cases when compared to that of diesel fuel. This could be due to the addition of DEE which tends to support the combustion process. Here the fuel bound oxygen oxidizes the HC molecules converting them into H₂O and CO₂ and thus facilitating complete combustion. A reduction of 15% and 40% has been achieved on an average with DEE15 blend when compared to that of diesel and BD20 respectively. Abraham and Thomas [79] declared that HC emissions decreased with increase in blend proportion at a constant load. HC emission of the BD20 and DEE5 blends is less than that of diesel fuel as seen in Fig. 13(b) due to inherent presence of oxygen in the molecular structure of the biodiesel and DEE.

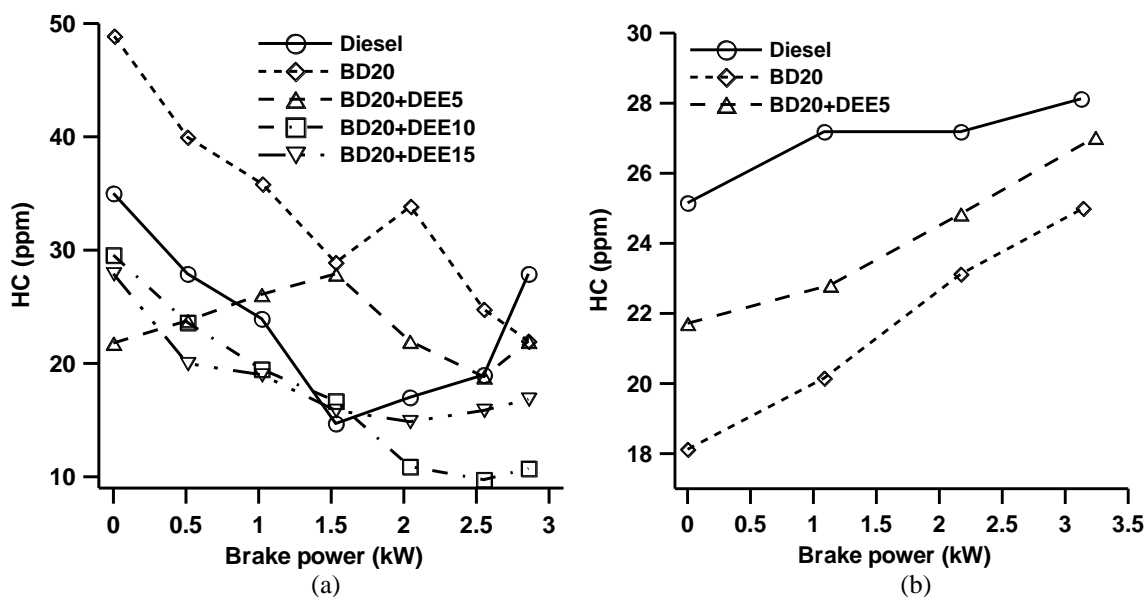


Fig. 13. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel-diesel blends [76, 79]

Fig. 14(a) shows the comparative results of hydrocarbons obtained with different blends and BD. It can be noticed that BD20 with smaller amounts of DEE yielded lower hydrocarbons in the exhaust. This is due to the fact that DEE has enhanced the combustion

process. The hydrocarbons in case of BD are far higher than DEE5 blend with BD20 [81]. It is observed from Fig. 14(b) that HC emission is increased for BD20 and it is also increased with increase of DEE in BD20 blend. The maximum HC emissions for DEE10 and DEE15 are 47ppm and 40ppm, whereas for diesel and BD20 are 33ppm and 38ppm respectively at full load. This increase in HC emission for DEE blends may be is due to incomplete combustion at very high loads and low calorific value of DEE which results in higher HC emissions. Also the another reason for HC emission at full load is the high latent heat of vaporization of DEE results in cooling the charge at full load conditions [83].

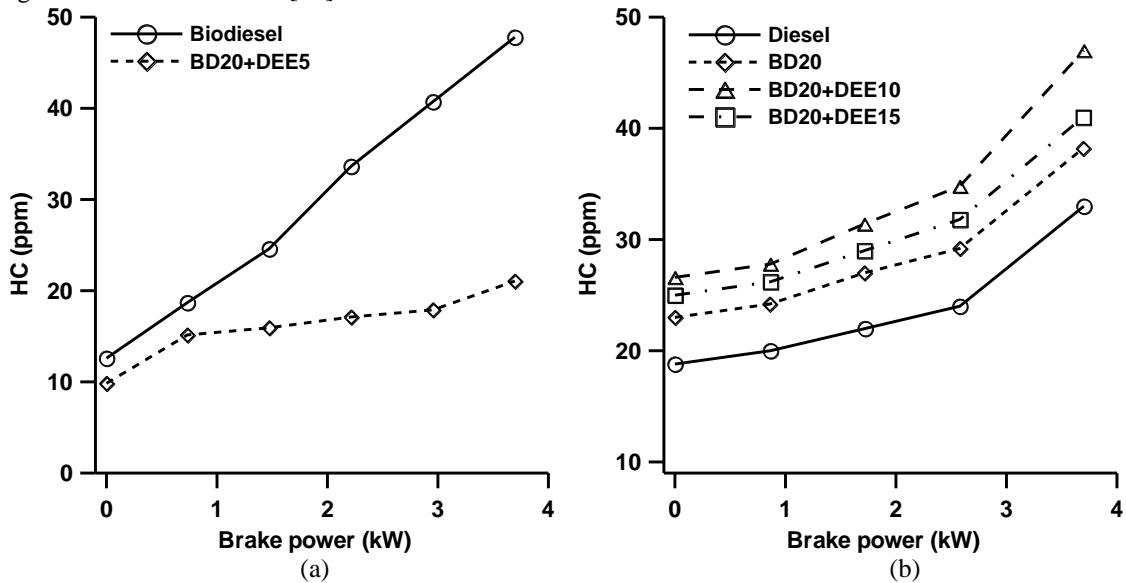


Fig. 14. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel-diesel blends [81, 83]

HC emission for the test fuels with different engine speeds are shown in Fig. 15(a). There are number of reasons for the HC emission during combustion. Fuel trapping in the crevice volumes of the combustion chamber is one of the major reasons of HC emission. Locally over-lean or over-rich mixture, incomplete fuel evaporation and liquid wall films for excessive spray impingement are also having been mentioned as significant factors. It can be seen from the figure that BD20 gave significantly lower HC than diesel fuel all over the engine speed range. It gave about 28% decreased emission than diesel on average. Such decrement can be attributed to the higher oxygen content of biodiesel which influenced the amount of hydrocarbon oxidation. On the contrary, BD15DEE5 and BD10DEE10 showed 32% and 52% increment. HC emission was supposed to be reduced due to even higher oxygen content of DEE. However, slip of fuel out of the cylinder especially at low speed during expansion stroke might be the reason for such higher emission as additives like DEE made fuel evaporation easier. Hence, IDI diesel engine inherently creates a homogeneous charge, consequently, addition of DEE may create lean outer flame zone. This is actually the envelope of the spray boundary where because of over-mixing the fuel is already beyond the flammability limit [91].

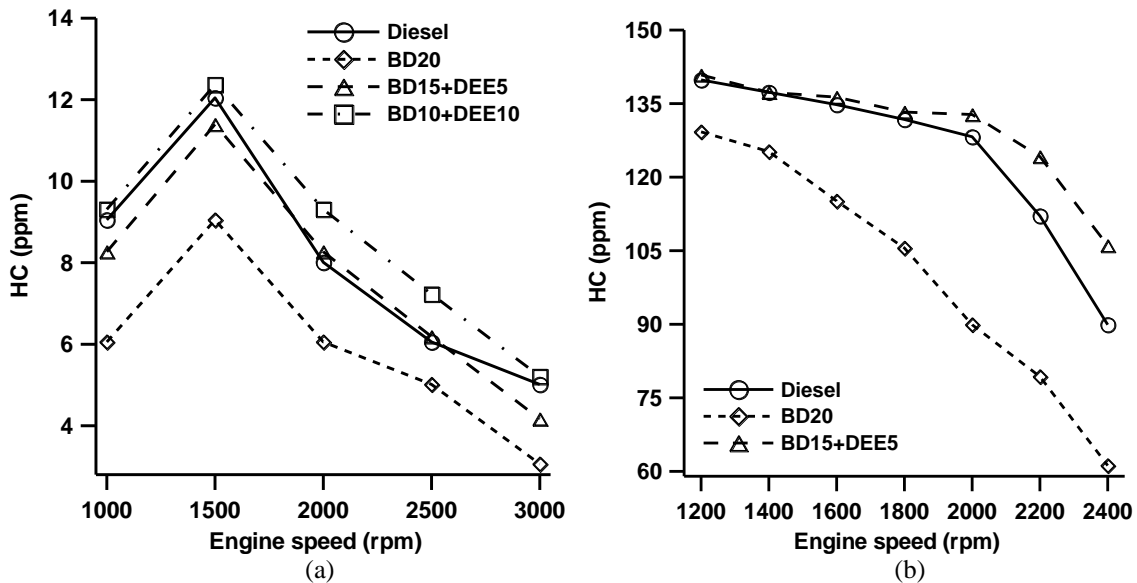


Fig. 15. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel-diesel blends [91, 98]

The effect of additives on HC emission is shown in the Fig. 15(b). Unburned hydrocarbon originates from various sources in the cylinder during combustion. It can be observed that, oxygenated compounds available in the biodiesel made the HC emission lower in the case of BD20. In spite of higher oxygen content of diethyl ether, DEE5 blend showed higher amounts of HC emission. This behavior can be the effect of addition of additives like ethanol and diethyl ether which make it easier to evaporate the fuel and slipped into the cylinder especially at low speed during expansion stroke. Another reason can be mentioned here is the increase of 'lean outer

flame zone'. This actually means the envelope of the spray boundary where the fuel is already beyond the flammability limit because of over mixing [98]. HC trend of tested fuels is shown in Fig. 16(a). Incomplete/partial combustion of fuel inside the engine cylinder leads to the formation of HC. It is obvious that the HC emissions are higher for the biodiesel blend in comparison with diesel at all loading conditions. Hydrocarbon emission increases with increase in engine load for all the tested fuels due to more quantity of fuel being injected. HC emission is greatly influenced by the nature of combustion and this value is a minimal for complete combustion. The biodiesel have more oxygen content compared to diesel and hence it is expected that the HC emissions for biodiesel should be less than neat diesel. This is because higher oxygen content may lead to better combustion. But, HC emissions increases with biodiesel and this is because even though the oxygen content is more, the kinematic viscosity of all the biodiesel blends are higher than neat diesel. DEE15 blend has minimum HC emissions and this is because the addition of DEE increases the cetane index of the blend resulting in comparatively complete combustion [102].

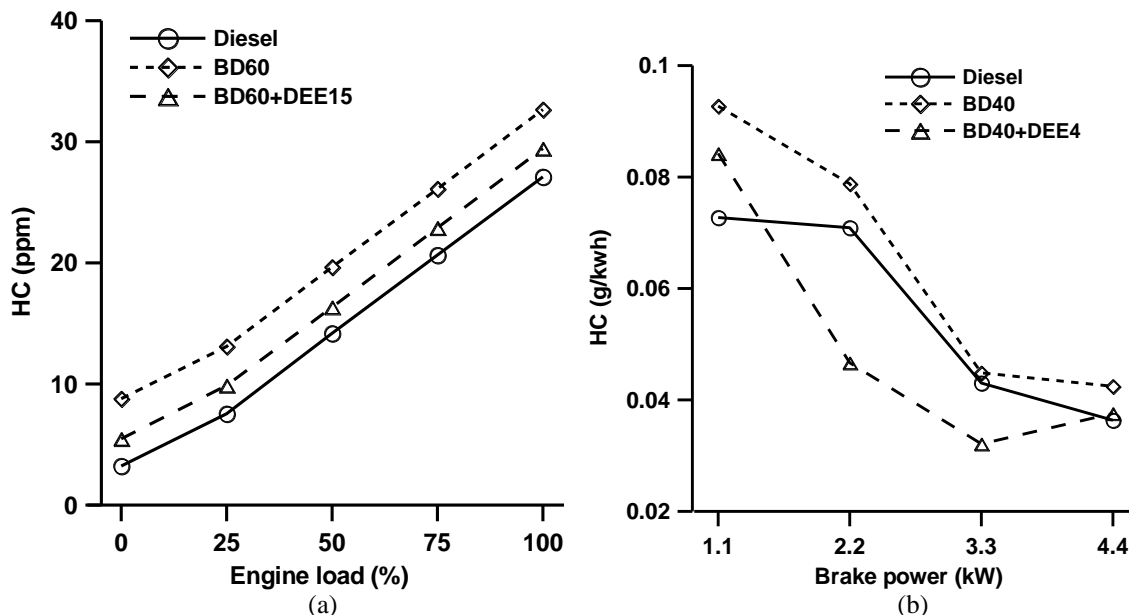


Fig. 16. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel-diesel blends [102, 107]

The HC emission of the diesel engine is primarily influenced by the fuel quality and the oxygen available for complete combustion. It is also influenced by the ignition delay and rate of reaction and engine design. The variation of HC emission with brake power is illustrated in Fig. 16(b). It can be observed from the figure that BD40 operation exhibits higher HC emission than that of the diesel operation. The higher aromatic content and poor mixture formation may be the reasons for the higher HC emission. HC concentration for DEE4 blend is lower compared to BD40 blend and diesel fuel. The reason may be the addition of DEE which provides oxygen for improved oxidation. HC emission of DEE4 is about 14% lower compared to that of BD40 blend [107]. Fig. 17 illustrates the variation of HC with respect to brake power for various test fuels. DEE5 and DEE10 exhibit higher HC during high engine load, in comparison with BD40E20. Higher latent heat of evaporation of DEE mixture promotes lower temperature combustion (LTC) during the combustion, thereby resulting in more fuel accumulation during the premixed combustion phase which is predominant in engine combustion chamber walls. The temperature near the cylinder walls during the mixture formation influences the HC formation especially at cylinder boundary. This causes more unburned hydrocarbon formation for DEE blends at high load [110].

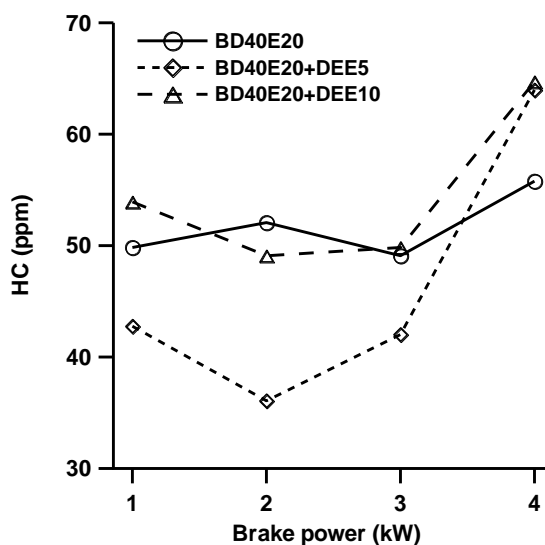


Fig 17. Effect of diethyl ether additive on HC emissions of biodiesel-ethanol blend [110]

Numerical values about diethyl ether addition on HC emissions are tabulated in Table 2. The suitable values with the variations in the presented figures can be seen in Table 2 with ethyl ether addition into various diesel engine fuels.

Table 2. Numerical values about diethyl ether addition on HC emissions

Base fuel + Additive	HC emissions (variation %)	Ref.
D + 24% DEE	↑ 32.5-37.4	[17]
D + 20% DEE	↓ 31.5-56.5	[22]
D + 50% DEE	↓ 11.4-37.4	[23]
D + 10% DEE	↓ 2.7-6.9	[29]
D + 15% BD + 5% DEE	↓ 0.9-18.2	[31]
D + 30% DEE	↑ 46.2	[32]
D + 10% E + 15% DEE	↑ 71.7-125.2	[33]
D + 15% E + 30% DEE	↑ 21.7-257.8	[35]
D + 10% E + 10% DEE	↓ 21.1-91.5	[37]
D + 15% DEE	↓ 10.4-31.8	[41]
D + 40% NG + 10% DEE	↑ 795-1636	[46]
BD + 20% DEE	↓ 1.5-9.1	[50]
BD + 25% DEE	↑ 37.3-445.8	[53]
BD + 15% DEE	↓ 17.2 ↑ 32.9	[59]
BD + 15% DEE	↑ 41.9-56.2	[64]
BD + 200 g/h DEE	↑ 2.1-11.9	[65]
BD + 170 g/h DEE	↓ 35.8 ↑ 5.1	[66]
BD + 10% DEE	↑ 41.7-138	[67]
BD + 30% W + 15% DEE	↓ 40.2-56.1	[70]
D + 20% BD + 15% DEE	↓ 11.5-33.3	[74]
D + 10% BD + 20% DEE	↓ 64.2-79.3	[75]
D + 20% BD + 15% DEE	↓ 39.6 ↑ 7.8	[76]
D + 20% BD + 5% DEE	↓ 3.9-16.1	[79]
D + 20% BD + 5% DEE	↓ 18.9-56	[81]
D + 20% BD + 15% DEE	↑ 24.2-32.9	[83]
D + 10% BD + 10% DEE	↑ 2.8-19.3	[91]
D + 15% BD + 5% DEE	↑ 0.7-17.9	[98]
D + 60% BD + 15% DEE	↑ 8.6-69.6	[102]
D + 40% BD + 4% DEE	↓ 34.2 ↑ 15.8	[107]
D + 40% BD + 20% E + 10% DEE	↓ 5.7 ↑ 16	[110]

5. Conclusions

The effect of diethyl ether addition to various diesel engine fuels and fuel blends is investigated on HC emissions in this review study. The following conclusions can be summarized as results of the study.

- HC is partially burned and unburned fuel emission. The HC emission of the diesel engine is primarily influenced by the fuel quality and the oxygen available for complete combustion. It is also influenced by the ignition delay and rate of reaction and engine design.
- There are number of reasons for the HC emission during combustion. Fuel trapping in the crevice volumes of the combustion chamber is one of the major reasons of HC emission. Locally over-lean or over-rich mixture, incomplete fuel evaporation and liquid wall films for excessive spray impingement are also significant factors.
- Low cylinder temperatures and pressures at particularly low engine loads deteriorated the combustion, thus yielding high HC emissions. Over-leaning of fuel injected during the ignition delay period is a significant source of hydrocarbon emissions especially when the ignition delay is long. During the compression period, the premixed fuel charge trapped in the cylinder crevices influenced the increase in HC emissions.
- DEE exhibits a shorter ignition delay period than diesel due to the better autoignitability of DEE, leading to increase in combustion gas temperature at earlier stage of combustion and rapidly reached the activation temperature of combustion. This improved oxidization of the hydrocarbon fuels, leading to better combustion with a reduction in HC emission. Another reason for low HC by DEE blends is that the higher oxygen content in the blends helps to combust the unburned fuel in the combustion chamber during the diffusion flame phase.

- The higher density and viscosity of biodiesel causes poor mixture formation and results in partially burned hydrocarbons during combustion process. The higher aromatic content and poor mixture formation are the reasons for the higher HC emission for biodiesel fuels. The presence of oxygen which increased the efficiency of the oxidation of hydrocarbons in the fuel and better mixing of DEE with air leads to improved combustion. Thus, DEE addition into biodiesel reduces the HC emissions.
- In spite of higher oxygen content of diethyl ether, DEE blends can show higher amounts of HC emission. The higher heat of vaporization of DEE produces slow vaporization and poorer fuel-air mixing which leading to incomplete combustion. Another reason is the increased spray penetration causing undesired fuel impingement on the chamber walls and so flame quenching and cushioning in the ring land areas. The third is related to the so-called 'lean flame out region'. This region is referred to a region near the outer edge of the spray in which, the mixture is often observed to be too lean to ignite or to support stable combustion. Lower temperatures and pressures extend this region and increased HC.

Abbreviations

BD	: Biodiesel
BD-D	: Biodiesel-diesel blends
CDB	: CNSO-Diesel blend
CNSO	: Cashew nut shell oil
D	: Diesel
D-BD-DEE	: Diesel-biodiesel-diethyl ether blends
DBE	: Dibutyl ether
DEE	: Diethyl ether
DMC	: Dimethyl carbonate
DME	: Dimethyl ether
E	: Ethanol
EGR	: Exhaust gas recirculation
HCCI	: Homogenous charge compression ignition
MTBE	: Methyl tertiary butyl ether
NG	: Natural gas
NO _x	: Nitrogen oxides
PCCI	: Partially charge compression ignition
PM	: Particulate matter
SO _x	: Sulphur oxides
W	: Water

References

1. R. Manikandan and N. Sethuraman, "Experimental investigation of nano additive ceric oxide (CeO₂)-ethanol blend on single cylinder four stroke diesel engine", *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 24-28, 2014.
2. A. G. Londhekar and S. C. Kongre, "Effects of different additives on performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine", *International Journal of Science and Research*, vol. 6, no. 2, pp. 1947-1952, 2017.
3. F. Y. Hagos, O. M. Ali, R. Mamat and A. A. Abdullah, "Effect of emulsification and blending on the oxygenation and substitution of diesel fuel for compression ignition engine", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 1281-1294, 2017.
4. R. N. Patil and B. G. Marlapalle, "Karanja (pongamia pinnata) biodiesel as an alternative fuel for DIC engine: a review", *International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 96-101, 2016.
5. P. Geng, E. Cao, Q. Tan and L. Wei, "Effects of alternative fuels on the combustion characteristics and emission products from diesel engines: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 523-534, 2017.
6. B. R. Kumar and S. Saravanan, "Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 84-115, 2016.
7. A. R. Patil and S. G. Taji, "Effect of oxygenated fuel additive on diesel engine performance and emission: a review", *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. X, pp. 30-35, 2013.
8. R. Senthilkumar, K. Ramadoss, R. Manimaran and M. Prabu, "Emission, combustion, performance and characteristics of a CI engine using MTBE blended diesel fuel", *International Conference on Advances in Engineering, Science and Management*, 2012, pp. 360-364.
9. L. Saravanakumar, B. R. R. Bapu and B. D. Prasad, "Performance and emission characteristics of a CI engine operating on methyl esters blended diesel with di-methyl carbonate additives", *International Energy Journal*, vol. 14, pp. 121-132, 2014.
10. S. S. Jawre, A. Bhagat, S. M. Moghe, V. A. Pakhale, "Diethyl ether as additive and its effect on diesel engine performance-a review", *Global Research and Development Journal for Engineering*, vol. 1, no. 5, pp. 27-31, 2016.
11. B. S. Chauhan, R. K. Singh, H. M. Cho and H. C. Lim, "Practice of diesel fuel blends using alternative fuels: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 1358-1368, 2016.

12. A. Valipour, "A review on effect of fuel additives on combustion, performance and emission characteristics of diesel and biodiesel fuelled engine", *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, vol. 3, no. 1, pp. 366-273, 2014.
13. M. Krishnamoorthi and R. Malayalamurthi, "A review on effect of diethyl ether additive on combustion, performance and emission characteristics of a diesel and biodiesel/vegetable oil fuelled engine", *Advances in Natural and Applied Sciences*, vol. 10, no. 7, pp. 9-17, 2016.
14. B. Bailey, J. Eberhardt, S. Goguen and J. Erwin, "Diethyl ether (DEE) as a renewable diesel fuel", *SAE Technical Paper*, Paper no: 972978, 1997.
15. I. Sezer, "Thermodynamic, performance and emission investigation of a diesel engine running on dimethyl ether and diethyl ether", *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 50, pp. 1594-1603, 2011.
16. B. Mohan, W. Yang, W. Yu and K. L. Tay, "Numerical analysis of spray characteristics of dimethyl ether and diethyl ether fuel", *Applied Energy*, vol. 185, pp. 1403-1410, 2017.
17. D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, E. G. Giakoumis and A. M. Dimaratos, "Characteristics of performance and emissions in high-speed direct injection diesel engine fueled with diethyl ether/diesel fuel blends", *Energy*, vol. 43, pp. 214-224, 2012.
18. D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, E. G. Giakoumis, A. M. Dimaratos, "Studying combustion and cyclic irregularity of diethyl ether as supplement fuel in diesel engine", *Fuel*, vol. 109, pp. 325-335, 2013.
19. K. R. Patil and S. S. Thipse, "The effect of injection timing on the performance and emission of direct injection CI engine running on diethyl ether-diesel blends", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 3773-3787, 2016.
20. P. H. Rathod and D. S. Darunde, "Experimental investigation and performance analysis of diethyl ether (DEE) and tert-amyl ethyl ether (TAEE) blend with diesel in C.I.D.I. engine: a review", *International Journal of Research In Science & Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 137-142, 2015.
21. A. V. Karthik and S. P. Kumar, "Experimental study of 4-stroke diesel engine blending with alternate fuel diethyl ether (DEE) and exhaust gas recirculation (EGR) system", *International Journal of Engineering Science and Computing*, vol. 6, pp. 7054-7058, 2016.
22. N. R. Banapurmath, S. V. Khandal, S. L. Ranganatha and T. K. Chandrashekar, "Alcohol (ethanol and diethyl ethyl ether)-diesel blended fuels for diesel engine applications-a feasible solution", *Advances in Automobile Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 1-8, 2015.
23. S. Lee and T. Y. Kim, "Performance and emission characteristics of a DI diesel engine operated with diesel/DEE blended fuel", *Applied Thermal Engineering*, vol. 121, pp. 454-461, 2017.
24. D. Saravanan, T. Vijayakumar and M. Thamaraikannan, "Experimental analysis of combustion and emissions characteristics of CI engine powered with diethyl ether blended diesel as fuel", *Research Journal of Engineering Sciences*, vol. 1, no. 4, pp. 41-47, 2012.
25. A. Ibrahim, "Investigating the effect of using diethyl ether as a fuel additive on diesel engine performance and combustion", *Applied Thermal Engineering*, vol. 107, pp. 853-862, 2016.
26. S. S. S. Likhitha, B. D. Prasad and R. V. Kumar, "Investigation on the effect of diethyl ether additive on the performance of variable compression ratio diesel engine", *International Journal of Engineering Research*, vol. 3, no. 1, pp. 11-15, 2014.
27. R. S. Kumar and K. S. Nagaprasad, "Investigation on diesel engine performance by injecting di-ethyl ether as an additive with exhaust gas recirculation using diesel particulate filter", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 3, no. 8, pp. 15192-15200, 2014.
28. T. Balamurugan and R. Nalini, "Comparative study on performance and emission in four stroke diesel engine using different blended fuel", *International Journal of Current Research and Development*, vol. 4, no. 1, pp. 58-64, 2016.
29. S. Madhu, A. V. K. Chaitanya and P. Bridjesh, "Effects of diethyl ether on performance and emission characteristics of a diesel engine using toroidal profile bowl piston by varying injection pressure", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 96-106, 2017.
30. D. Danesha and H. Manjunath, "Production and characterization of biodiesel from Simarouba Glauca seed oil with diethyl ether as an additive and its performance and emission evaluation on single cylinder, four stroke C.I engine", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 5, no. 13, pp. 64-68, 2016.
31. B. V. V. Prasadarao, N. Haribabu and M. V. Ramana, "The role of oxygenated fuel additive (DEE) along with palm methyl ester and diesel to estimate performance and emission analysis of DI-diesel engine", *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 1-9, 2014.
32. C. Cinar, Ö. Can, F. Sahin and H. S. Yucesu, "Effects of premixed diethyl ether (DEE) on combustion and exhaust emissions in a HCCI-DI diesel engine", *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 360-365, 2010.
33. M. Iranmanesh, "Experimental investigations about the effect of new combination of biofuels on simultaneous reduction of NO_x and smoke emissions in DI-diesel engine", *International Journal of Automotive Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 379-392, 2013.
34. S. Sudhakar and S. Sivaprakasam, "Experimental investigation on combustion characteristics in DI diesel engine using diethyl ether fumigation with ethanol blended diesel", *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 4, no. 4, pp. 872-878, 2014.
35. S. Sudhakar and S. Sivaprakasam, "Effects of diethyl ether fumigation in DI diesel engine using bio ethanol blended diesel", *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 11, no. 1, pp. 65-71, 2014.
36. S. Sudhakar and S. Sivaprakasam, "The effect of exhaust gas recirculation on diethyl ether fumigation in DI diesel engine with ethanol blended diesel", *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 3, no. 10, pp. 538-548, 2014.

37. A. Paul, P. K. Bose, R. S. Panua and D. Debroy, "Study of performance and emission characteristics of a single cylinder CI engine using diethyl ether and ethanol blends", *Journal of the Energy Institute*, vol. 88, pp. 1-10, 2015.
38. A. Paul, R. S. Panua, D. Debroy and P. K. Bose, "Effect of diethyl ether and ethanol on performance, combustion, and emission of single cylinder compression ignition engine", *International Journal of Ambient Energy*, vol. 38, no. 1, pp. 2-13, 2017.
39. M. M. Lukhman, P. Sadees, V. Pradeep and M. Murali, "Experimental investigation on diethyl ether as an ignition improver in diesel- ethanol emulsified fuel for C.I. engine", *International Conference on Systems, Science, Control, Communication, Engineering and Technology*, 2016, pp. 554-560.
40. M. M. Kumar and S. S. K. Reddy, "Performance characteristics of single cylinder DI diesel engine by using di-ethyl ether as an additive with diesel ethanol blend", *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, vol. 4, no. 9, pp. 3272-3275, 2015.
41. P. P. Patnaik, S. P. Jena, S. K. Acharya and H. C. Das, "Effect of FeCl₃ and diethyl ether as additives on compression ignition engine emissions", *Sustainable Environment Research*, vol. 27, pp. 154-161, 2017.
42. K. R. Patil and S. S. Thipse, "Experimental investigation of CI engine combustion, performance and emissions in DEE-kerosene-diesel blends of high DEE concentration", *Energy Conversion and Management*, vol. 89, pp. 396-408, 2015.
43. S. K. Mahla, S. Kumar, H. Shergill and A. Kumar, "Study the performance characteristics of acetylene gas in dual fuel engine with diethyl ether blends", *International Journal on Emerging Technologies*, vol. 3, no. 1, pp. 80-83, 2012.
44. K. Sudheesh and J. M. Mallikarjuna, "Diethyl ether as an ignition improver for biogas homogeneous charge compression ignition (HCCI) operation-an experimental investigation", *Energy*, vol. 35, pp. 3614-3622, 2010.
45. N. K. M. Jothi, G. Nagarajan and S. Renganarayanan, "Experimental studies on homogeneous charge CI engine fueled with LPG using DEE as an ignition enhancer", *Renewable Energy*, vol. 32, pp. 1581-1593, 2007.
46. M. Karabektas, G. Ergen and M. Hosoz, "The effects of using diethylether as additive on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with CNG", *Fuel*, vol. 115, pp. 855-860, 2014.
47. S. Polat, "An experimental study on combustion, engine performance and exhaust emissions in a HCCI engine fuelled with diethyl ether-ethanol fuel blends", *Fuel Processing Technology*, vol. 143, pp. 140-150, 2016.
48. J. H. Mack, B. A. Buchholz, D. L. Flowers and R. W. Dibble, "The effect of the di-tertiary butyl peroxide (DTBP) additive on HCCI combustion of fuel blends of ethanol and diethyl ether", *Society of Automotive Engineering*, Paper no: 2005-01-2135, 2015.
49. G. Pranesh, P. M. Samuel, B. Thankachan, M. Manimaran and R. Silambarasan, "Performance and emission characteristics of blending diethyl ether in cotton seed oil methyl ester using a direct injection diesel engine", *International Journal on Applications in Mechanical and Production Engineering*, vol. 1, no. 6, pp. 14-16, 2015.
50. D. C. Rakopoulos, "Combustion and emissions of cottonseed oil and its bio-diesel in blends with either n-butanol or diethyl ether in HSDI diesel engine", *Fuel*, vol. 105, pp. 603-613, 2013.
51. D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos and D. C. Kyritsis, "Butanol or DEE blends with either straight vegetable oil or biodiesel excluding fossil fuel: comparative effects on diesel engine combustion attributes, cyclic variability and regulated emissions trade-off", *Energy*, vol. 115, pp. 314-325, 2016.
52. D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, E. G. Giakoumis, R. G. Papagiannakis and D. C. Kyritsis, "Influence of properties of various common bio-fuels on the combustion and emission characteristics of high-speed DI (direct injection) diesel engine: vegetable oil, bio-diesel, ethanol, n-butanol, diethyl ether", *Energy*, vol. 73, pp. 354-366, 2014.
53. R. Krishna, A. G. Bandewar and V. K. Dongare, "Experimental investigations of blending diethyl ether in karanja vegetable oil using a multi-cylinder diesel engine", *International Journal of Research and Innovative Technology*, vol. 1, no. 5, pp. 70-73, 2014.
54. I. Singh and V. Sahni, "Performance analysis of the compression ignition engine using karanja biodiesel with additive diethyl ether", *Int'l Conference on Aeronautical, Automotive and Manufacturing Engineering*, 2015, pp. 9-12.
55. S. S. Jawre and S. M. Lawankar, "Performance analysis of kustum methyl ester as alternative bio-fuel in diesel engine with diethyl ether as additive", *International Journal of Innovative Research & Development*, vol. 3, no. 5, pp. 139-144, 2014.
56. S. S. Jawre and S. M. Lawankar, "Experimental analysis of performance of diesel engine using kustum methyl ester with diethyl ether as additive", *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, no. 5, pp. 106-111, 2014.
57. K. P. Rao and V. L. Reddi, "Performance evaluation of diesel engine with biodiesel along with additive for replacing diesel fuel", *Int. J. Chem. Sci.*, vol. 14, no. 4, pp. 2379-2388, 2016.
58. P. R. Babu, K. P. Rao and B. V. A. Rao, "The role of oxygenated fuel additive (DEE) along with mahuva methyl ester to estimate performance and emission analysis of DI-diesel engine", *International Journal of Thermal Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 119-123, 2012.
59. S. Sivalakshmi and T. Balusamy, "Effect of biodiesel and its blends with diethyl ether on the combustion, performance and emissions from a diesel engine", *Fuel*, vol. 106, pp. 106-110, 2013.
60. O. M. Ali, R. Mamat, C. K. M. Faizal, "Effects of diethyl ether additives on palm biodiesel fuel characteristics and low temperature flow properties", *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 52, pp. 111-120, 2013.
61. O. M. Ali, T. Yusaf, R. Mamat, N. R. Abdullah and A. A. Abdullah, "Influence of chemical blends on palm oil methyl esters' cold flow properties and fuel characteristics", *Energies*, vol. 7, pp. 4364-4380, 2014.
62. J. S. Kumar and S. V. M. Prasad, "Experimental study on performance characteristics of C.I. engine fueled with biodiesel and its blends diethyl ether", *International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research*, vol. 1, no. 8, pp. 36-40, 2014.

63. Y. V. V. Satyanarayanamurthy, "Experimental investigations of real time secondary co-injection of water-diethyl ether solution in DI-diesel engine fuelled with palm kernel methyl ester", *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 7, no. 6, pp. 711-721, 2012.
64. K. Rajan, M. Prabhakar, K. R. Senthilkumar, "Experimental studies on the performance, emission and combustion characteristics of a biodiesel-fuelled (pongamia methyl ester) diesel engine with diethyl ether as an oxygenated fuel additive", *International Journal of Ambient Energy*, vol. 37, no. 5, pp. 439-445, 2016.
65. V. E. Geo, G. Nagarajan and B. Nagalingam, "Studies on improving the performance of rubber seed oil fuel for diesel engine with DEE port injection", *Fuel*, vol. 89 pp. 3559-3567, 2010.
66. S. Hariharan, S. Murugan and G. Nagarajan, "Effect of diethyl ether on tyre pyrolysis oil fueled diesel engine", *Fuel*, vol. 104, pp. 109-115, 2013.
67. J. Devaraj, Y. Robinson and P. Ganapathi, "Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine", *Energy*, vol. 85, pp. 304-309, 2015.
68. V. K. Kaimal and P. Vijayabalan, "An investigation on the effects of using DEE additive in a DI diesel engine fuelled with waste plastic oil", *Fuel*, vol. 180, pp. 90-96, 2016.
69. D. Barik and S. Murugan, "Effects of diethyl ether (DEE) injection on combustion performance and emission characteristics of karanja methyl ester (KME)-biogas fueled dual fuel diesel engine", *Fuel*, vol. 164, pp. 286-296, 2016.
70. B. Sachuthanathan and K. Jeyachandran, "Combustion, performance and emission characteristics of water-biodiesel emulsion as fuel with DEE as ignition improver in a DI diesel engine", *Journal of Environmental Research and Development*, vol. 2, no. 2, pp. 164-172, 2007.
71. M. Krishnamoorthi and R. Malayalamurthi, "Experimental investigation on performance, emission behavior and exergy analysis of a variable compression ratio engine fueled with diesel-aegle marmelos oil-diethyl ether blends", *Energy*, vol. 128, pp. 312-328, 2017.
72. M. M. Roy, J. Calder, W. Wang, A. Mangad and F. C. M. Diniz, "Cold start idle emissions from a modern Tier-4 turbo-charged diesel engine fueled with diesel-biodiesel, diesel-biodiesel-ethanol, and diesel-biodiesel-diethyl ether blends", *Applied Energy*, vol. 180, pp. 52-65, 2016.
73. A. Kumar, K. Rajan, M. R. Naraynan and K. R. S. Kumar, "Performance and emission characteristics of a DI diesel engine fuelled with cashew nut shell oil (CNSO)-diesel blends with diethyl ether as additive", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 787, pp. 746-750, 2015.
74. A. Kumar, K. Rajan, K. R. S. Kumar, K. Maiyappan and U. T. Rasheed, "Green fuel utilization for diesel engine, combustion and emission analysis fuelled with CNSO diesel blends with diethyl ether as additive", *Materials Science and Engineering*, vol. 197, pp. 1-10, 2017.
75. T. Ganesha and K. S. Chethan, "An experimental investigation of the performance and emission of diesel engine fueled with cashew shell oil methyl ester (CSOME) and it's blend with diethyl ether and conventional diesel", *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, vol. 2, no. 9, pp. 922-929, 2016.
76. S. Srihari, S. Thirumalini and K. Prashanth, "An experimental study on the performance and emission characteristics of PCCI-DI engine fuelled with diethyl ether-biodiesel-diesel blends", *Renewable Energy*, vol. 107, pp. 440-447, 2017.
77. D. Karthick, R. Dwarakesh and Premnath, "Combustion and emission characteristics of jatropha blend as a biodiesel for compression ignition engine with variation of compression ratio", *International Review of Applied Engineering Research*, vol. 4, no. 1, pp. 39-46, 2014.
78. V. P. U. Satya, K. M. Murthy and G. A. P. Rao, "Effective utilization of B20 blend with oxygenated additives", *Thermal Science*, vol. 15, no. 4, pp. 1175-1184, 2011.
79. B. C. Abraham and A. J. Thomas, "Performance evaluation of biodiesel with a combustion enhancer additive", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 6, no. 8, pp. 118-125, 2015.
80. D. Firew, N. R. Babu and M. Didwania, "The performance evaluation of diethyl-ether (DEE) additive with diesel blends using diesel engine test rig", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 7, no. 6, pp. 23-29, 2016.
81. U. S. V. Prasad, K. Madhu Murthy and R. G. Amba Prasad, "Effect of oxygenated additives on control of emissions in a DI diesel engine using biodiesel-diesel blends", *International Conference on Mechanical, Automobile and Robotics Engineering*, 2012, pp. 256-260.
82. C. H. Biradar, K. A. Subramanian and M. G. Dastidar, "Performance improvement and emissions reduction of a DI diesel engine for use of karanja biodiesel-diesel blend (B20) using diethyl ether", *SAE*, Paper no: 2011-26-0004, 2011.
83. A. R. Manickam, K. Rajan, N. Manoharan and K. R. Senthil Kumar, "Experimental analysis of a diesel engine fuelled with biodiesel blend using di-ethyl ether as fuel additives", *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, no. 5, pp. 2412-2420, 2014.
84. P. K. Channe and R. K. Kulkarni, "Performance testing of diesel engine using KME and DEE blends with kerosene: a review", *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 3, no. 6, pp. 1-5, 2015.
85. D. D. Nagdeote and M. M. Deshmukh, "Experimental study of diethyl ether and ethanol additives with biodiesel-diesel blended fuel engine", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 195-199, 2012.
86. N. Vadivel, P. Somasundaram and M. Krishnamoorthi, "Performance and emission characteristics of a CI engine fueled with diesel -biodiesel (mahua/mustard) blend with diethyl ether additive", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, vol. 7, pp. 109-115, 2015.
87. M. V. Mallikarjun, V. R. Mamilla and G. L. N. Rao, "NOx emission control techniques when CI engine is fuelled with blends of mahua methyle esters and diesel", *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, vol. 4, no. 2, pp. 96-104, 2013.

88. S. Sudhakar and S. Sivaprakasam, "Potential of diethyl ether blends with biodiesel in DI diesel engine-an experimental investigation", *International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 1-6, 2014.
89. M. Krishnamoorthi, "Exergy analysis of diesel engine powered by diesel-mustard biodiesel blend with diethyl ether as additive", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, vol. 7, no. 8, pp. 809-816, 2015.
90. R. Sathiyamoorthi, G. Sankaranarayanan and K. Pitchandi, "Combined effect of nanoemulsion and EGR on combustion and emission characteristics of neat lemongrass oil (LGO)-DEE-diesel blend fuelled diesel engine", *Applied Thermal Engineering*, vol. 112, pp. 1421-1432, 2017.
91. S. Imtenan, H. H. Masjuki, M. Varman, I. M. Rizwanul Fattah, H. Sajjad and M. I. Arbab, "Effect of n-butanol and diethyl ether as oxygenated additives on combustion-emission-performance characteristics of a multiple cylinder diesel engine fuelled with diesel-jatropha biodiesel blend", *Energy Conversion and Management*, vol. 94, pp. 84-94, 2015.
92. D. S. Akshatha, G. Manavendra and S. Kumarappa, "Performance evaluation of Neem biodiesel on CI engine with diethyl ether as additive", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 2, no. 8, pp. 3729-3736, 2013.
93. J. V. Kumar and C. J. Rao, "Experimental investigation of performance and emission characteristics of diesel engine working on diesel and neem oil blend with diethyl ether as additive", *International Journal of Technological Exploration and Learning*, vol. 3, no. 5, pp. 581-588, 2014.
94. K. Annamalai, A. R. P. Kumar and K. Premkartik, "Adelfa (NOME-nerium oil methyl ester) with DEE as the fuel additive for NOx reduction in DI Diesel engines-an experimental investigation", *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 73, pp. 627-632, 2014.
95. O. M. Ali, R. Mamat, H. H. Masjuki and A. A. Abdullah, "Analysis of blended fuel properties and cycle-to-cycle variation in a diesel engine with a diethyl ether additive", *Energy Conversion and Management*, vol. 108, pp. 511-519, 2016.
96. O. M. Ali, R. Mamat, G. Najafi, T. Yusaf and S. M. S. Ardebili, "Optimization of biodiesel-diesel blended fuel properties and engine performance with ether additive using statistical analysis and response surface methods", *Energies*, vol. 8, pp. 14136-14150, 2015.
97. O. M. Ali, R. Mamat, N. R. Abdullah and A. A. Abdullah, "Investigation of blended palm biodiesel-diesel fuel properties with oxygenated additive", *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 8, pp. 5289-5293, 2016.
98. S. Imtenan, H. H. Masjukia, M. Varmana, M. I. Arbaba, H. Sajjada, I. M. Rizwanul Fattaha, M. J. Abedina, A. S. Md. Hasib, "Emission and performance improvement analysis of biodiesel-diesel blends with additives", *Procedia Engineering*, vol. 90, pp. 472-477, 2014.
99. S. Imtenan, M. Varman, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, H. Sajjad and M. I. Arbab, "Effect of DEE as an oxygenated additive on palm biodiesel-diesel blend in the context of combustion and emission characteristics on a medium duty diesel engine", *4th International Conference on Environmental, Energy and Biotechnology*, 2015, pp. 100-104.
100. K. S. Varaprasad and H. S. B. Rao, "Experimental investigation on engine performance and exhaust emission analysis of diesel engine operating on palm oil biodiesel blends with diethyl ether as an additive", *International Journal of Research and Innovation*, 2017.
101. R. Muneeswaran, M. R. Thansekhar and K. Varatharajan, "Effect of diethyl ether addition to palm stearin biodiesel blends on NOx emissions from a diesel engine", *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, vol. 6, no. 9, pp. 1382-1394, 2016.
102. K. J. Samuel, R. T. K. Raj, N. Sreenivasulu, Y. Rajasekhar, G. Edison and S. A. Saco, "An experimental study on performance and emissions of a direct ignition diesel engine with crude pongamia, pongamia methyl ester and diethyl ether blended with diesel", *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 6, no. 4, pp. 1506-1515, 2016.
103. M. Pugazhivadivu and S. Rajagopan, "Investigations on a diesel engine fuelled with biodiesel blends and diethyl ether as an additive", *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 31-35, 2009.
104. R. Muneeswaran and M. R. Thansekhar, "Reduction of NOx emission in biodiesel (soyabean) fuelled DI diesel engine by cetane improver", *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 10, no. 7, pp. 2968-2973, 2015.
105. P. Navaneethkrishnan and D. Vasudevan, "Experimental study on performance and exhaust emission characteristics of a C.I. engine fuelled with tri compound oxygenated diesel fuel blends", *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 307-313, 2015.
106. K. Tudu, S. Murugan and S. K. Patel, "Effect of diethyl ether in a DI diesel engine run on a tyre derived fuel-diesel blend", *Journal of the Energy Institute*, vol. 89, pp. 525-535, 2016.
107. S. Murugan, K. Tudu and S. K. Patel, "Performance and emission studies of a naturally aspirated diesel engine", *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 5, no. 5, pp. 359-365, 2017.
108. M. Krishnamoorthi and A. Natarajan, "Performance and emission characteristics of a CI engine fueled with diesel-waste fried oil blend with DEE as additive", *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, vol. 3, no. 5, pp. 65-72, 2015.
109. R. Senthil, E. Sivakumar and R. Silambarasan, "Effect of diethyl ether on the performance and emission characteristics of a diesel engine using biodiesel-eucalyptus oil blends", *RSC Advances*, vol. 5, pp. 54019-54027, 2015.
110. H. Venu and V. Madhavan, "Effect of diethyl ether and Al₂O₃ nano additives in diesel-biodiesel-ethanol blends: performance, combustion and emission characteristics", *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 31, no. 1, pp. 409-420, 2017.
111. H. Venu and V. Madhavan, "Effect of nano additives (titanium and zirconium oxides) and diethyl ether on biodiesel-ethanol fuelled CI engine", *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 30, no. 5, pp. 2361-2368, 2016.
112. D. H. Qi, H. Chen, L. M. Geng and Y. Z. Bian, "Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine", *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 1252-1258, 2011.

113. H. Venu and V. Madhavan, "Influence of diethyl ether (DEE) addition in ethanol-biodiesel-diesel (EBD) and methanol-biodiesel-diesel (MBD) blends in a diesel engine", *Fuel*, vol. 189, pp. 377-390, 2017.



4-Boyutlu 2 indeksli Yarı Öklid Uzayındaki Null Kuaterniyonik Bertrand Eğriler

Abide Tuna Aksoy^{1*}

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7229-603X)

(İlk Geliş Tarihi 14 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 6 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.539925)

ATIF/REFERENCE: Tuna Aksoy, A. (2019). 4-Boyutlu 2 indeksli Yarı Öklid Uzayındaki Null Kuaterniyonik Bertrand Eğriler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 125-130.

Öz

Bu çalışmada, 4-boyutlu 2 indeksli yarı Öklid uzayındaki null kuaterniyonik Bertrand eğrileri tanımlanmıştır. Ayrıca, null kuaterniyonik Bertrand eğrileri için bir karakterizasyon elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bertrand eğri, Null kuaterniyonik eğri, Null kuaterniyonik çatı.

Null Quaternionic Bertrand Curves in Semi Euclidean 4-Space \mathbb{R}_2^4

Abstract

In this study, we define null quaternionic Bertrand curves in semi Euclidean spaces \mathbb{R}_2^4 . We also obtain a characterization for null quaternionic Bertrand curves.

Keywords: Bertrand curves, Null quaternionic curve, Null quaternionic frame.

* Sorumlu Yazar: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7229-603X), abidebytr@yahoo.com

1. Introduction

Bonnor introduced a Cartan frame for null curves in \mathbb{R}_1^4 and he proved the fundamental existence and congruence theorems. Bejancu gives a method for the general study of the geometry of null curves in lightlike manifolds and in semi-Riemannian manifolds. A. Ferrandez et al. show that geometry of null curves in semi-Riemannian manifolds of index two has been constructed. And then, Duggal and Jin studied major developments of null curves, hypersurfaces and their physical use, with voluminous bibliography in their recent book.

Bertrand curve theory is widely studied by many mathematician since it is firstly introduced by Bertrand for answering a question about the relationship between principal normals of two curves. A Bertrand curve is a curve such that its principal normal is the principal normal of the second curve. Matsuda and Yorozu proved that there is not special Bertrand curve in $E^n (n > 3)$ and they defined new type which is called (1, 3) –type Bertrand curve in 4-dimensional Euclidean space (Matsuza, Yorozu 2003). The study of this kind of curves has been extended to many other ambient spaces. Uçum et al. studied (1, 3) –type Cartan null Bertrand curves in E_2^4 .

Quaternions were discovered by Hamilton as an extension to the complex number in 1843. The theory of Frenet frames for a quaternionic curve was studied and developed by several researchers in this field. In 1987, the Serret–Frenet formulas for a quaternionic curve in E^3 and E^4 were defined by Bharathi and Nagaraj and then in 2004, Serret–Frenet formulas for quaternionic curves and quaternionic inclined curves were defined in semi-Euclidean space by Çöken and Tuna. Later, Keçilioğlu and İlarşlan studied quaternionic Bertrand curves in Euclidean 4-space . In 2015, Serret–Frenet formulas for null quaternionic curves were defined in semi- Euclidean spaces by Çöken and Tuna. Recently, Gök and Aksoyak defined a quaternionic Bertrand curve in E^4 and investigate its properties. Finally, A. Tuna Aksoy studied null quaternionic Bertrand curves in Minkowski space \mathbb{R}_1^4 . Then, we established a relation of Bertrand pairs with null quaternionic Cartan helices in \mathbb{R}_0^3 .

The main goal of this paper is to define (1, 3) –type of Cartan null quaternionic Bertrand curves in semi-Euclidean 4-space with index 2. In the particular case where null quaternionic curves are parametrized by the pseudo-arc length parameter. Here, by using the similar idea of Matsuda and Yorozu, we give the necessary and sufficient conditions for a Cartan null quaternionic curve to be a (1, 3) –Bertrand curve in \mathbb{R}_2^4 .

2. Preliminaries

Let Q_H denotes a four dimensional vector space over the field H of characteristic grater than 2. Let $e_i (1 \leq i \leq 4)$ denote a basis for the vector space. Let the rule of multiplication on Q_H be defined on $e_i (1 \leq i \leq 4)$ and extended to the whole of the vector space by distributivity as follows:

The set of the semi real quaternions is defined by

$$Q_H = \{q \mid q = ae_1 + be_2 + ce_3 + d; a, b, c, d \in \mathbb{R}, e_1, e_2, e_3 \in \mathbb{R}_{v(v=1,2)}^3, h_v(e_i, e_i) = \varepsilon(e_i), 1 \leq i \leq 3. \}$$

Where

$$\begin{aligned} e_i^2 &= -\varepsilon(e_i), \quad 1 \leq i \leq 3, \\ e_i \times e_j &= \varepsilon(e_i)\varepsilon(e_j)e_k \quad \text{in } \mathbb{R}_1^3 \\ e_i \times e_j &= -\varepsilon(e_i)\varepsilon(e_j)e_k \quad \text{in } \mathbb{R}_2^4 \end{aligned}$$

and (ijk) is an even permutation of (123). The multiplication of two semi real quaternions p and q is defined by:

$$p \times q = S_p S_q + S_p V_q + S_q V_p + h(V_p, V_q) + V_p \Delta V_q \text{ for every } p, q \in Q_v$$

where we have used the inner and cross products in semi-Euclidean space \mathbb{R}_v^3 . For a semi real quaternion

$$q = ae_1 + be_2 + ce_3 + d \in Q_v, \text{ the conjugate } \alpha q \text{ of } q \text{ is defined by } \alpha q = -ae_1 - be_2 - ce_3 + d$$

Now, we recall the notion of null quaternionic curve in \mathbb{R}_2^4 . Let $\beta: I \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ be a null quaternionic curve in semi Euclidean spaces. We define symmetric, non- degenerate valued bilinear form h as follows: $h_v : Q_v \times Q_v \rightarrow \mathbb{R}$ by

$$h_1(p, q) = \frac{1}{2} [\varepsilon(p)\varepsilon(\alpha q)(p \times \alpha q) + \varepsilon(q)\varepsilon(\alpha p)(q \times \alpha p)] \text{ for } \mathbb{R}_1^3$$

$$h_2(p, q) = \frac{1}{2} [-\varepsilon(p)\varepsilon(\alpha q)(p \times \alpha q) - \varepsilon(q)\varepsilon(\alpha p)(q \times \alpha p)] \text{ for } \mathbb{R}_2^4$$

And then, the norm of semi real quaternion q is denoted by

$$\|q\|^2 = |h_v(q, q)| = |a^2\varepsilon(e^1) + b^2\varepsilon(e^2) + c^2\varepsilon(e^3) + d^2| \text{ for } v = \{1,2\}.$$

The concept of a spatial quaternion will be made use throughout our work. q is called a spatial quaternion whenever $q + \alpha q = 0$. It is a temporal quaternion whenever $q - \alpha q = 0$ (Bharathi & Nagaraj, 1987; Çöken & Tuna, 2004; Gök & Aksoy, 2013; Keçilioğlu & Ilarslan, 2013; Tuna Aksoy & Çöken 2018 ; Tuna Aksoy, 2016; Tuna Aksoy & Çöken, 2017).

We recall some standard facts concerning null quaternionic curves in \mathbb{R}_2^4 . A quaternionic curve $\beta(s)$ in \mathbb{R}_2^4 is called a null quaternionic curve if $h(\beta'(s), \beta'(s)) = 0$ and $\beta'(s) \neq 0$ for all s . We note that a null quaternionic curve $\beta(s)$ in \mathbb{R}_2^4 satisfies $h(\beta''(s), \beta''(s)) = \mp 1$. We say that a null quaternionic curve $\beta(s)$ in \mathbb{R}_2^4 is parametrized by the pseudo-arc length s if $h(\beta''(s), \beta''(s)) = 1$, (Tuna Aksoy & Çöken, 2018).

If β is a Cartan null quaternionic curve, the Frenet formulas read (Tuna Aksoy & Çöken, 2018)

$$\begin{aligned} L' &= KW, N' = (\tau - p)L, U' = -(\tau - p)N + pW, W' = pL + KU \quad \text{and} \\ L' &= KW, N' = -(\tau + p)L, U' = (\tau + p)N + pW, W' = pL + KU \end{aligned} \quad (2.1)$$

where the first curve $K = 1$. Then the following conditions are satisfied:

$$h(L, L) = h(U, U) = h(L, W) = h(N, U) = h(N, W) = h(U, W) = h(L, N) = 0, h(N, N) = h(L, U) = -1 \text{ and } h(W, W) = +1.$$

We give the following characterization theorems for null quaternionic Bertrand pair in \mathbb{R}_2^4 .

3. Null Quaternionic Bertrand Curves in \mathbb{R}_2^4

Definition 3.1. A null quaternionic Cartan curve $\beta: I \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ with $K(s) = 1$ is a Bertrand curve if there is a curve $\beta^*: I^* \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ such that the principal normal vectors of $\beta(s)$ and $\beta^*(s^*)$ at $s \in I, s^* \in I^*$ are equal. In this case, $\beta^*(s^*)$ is the bertrand mate of $\beta(s)$.

Theorem 3.2. There exists no Cartan null Bertrand curve $\beta: I \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ with curvature functions $K = 1, (\tau - p) \neq 0$ and $p \neq 0$.

Proof. Let $\beta(s)$ and $\beta^*(s^*)$ be null quaternionic Bertrand curves, with respect to a special parameter s^* and suppose that $\{L, N, U, W\}$ and $\{L^*, N^*, U^*, W^*\}$ are their quaternionic Cartan frames, respectively. Then we can write

$$\beta^*(s^*) = \beta(s) + \lambda(s)N(s) \quad (3.1)$$

Suppose s and s^* are the pseudo-arc parameters of β and β^* , respectively, then by taking derivative of (3.1) with respect to s and using null quaternionic Cartan frame, we get

$$\frac{ds^*}{ds} L^* = (1 + \lambda(\tau - p))L + \lambda' N.$$

On the other hand, the condition

$$h(L^*, L^*) = (L^* \times \alpha L^*) = 0$$

holds for null quaternionic Bertrand curves, hence $\lambda' = 0$, we deduce that λ is a nonzero constant. This means that

$$\frac{ds^*}{ds} L^* = (1 + \lambda(\tau - p))L$$

which is a contradiction. Thus, we prove that there is no Cartan null quaternionic Bertrand curve in the semi Euclidean space \mathbb{R}_2^4 for $K = 1, (\tau - p) \neq 0$ and $p \neq 0$.

4. (1, 3)-Null Quaternionic Bertrand Curves in \mathbb{R}_2^4

Definition 4.1. Let $\beta: I \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ be a null quaternionic Cartan Frenet curve. The plane spanned by the principal normal vector $N(s)$ and the second binormal vector $W(s)$ is called the (1,3) –normal plane of β at the point $s \in I$.

Definition 4.2. Let $\beta: I \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ and $\beta^*: I^* \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ be a null quaternionic Cartan Frenet curves. If the Frenet (1,3) –normal plane of β coincides with the (1,3) –normal plane of β^* at corresponding points, then β is called a (1,3) –Bertrand curve and β^* is called the (1,3) –Bertrand mate curve of β .

Let $\beta: I \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ be a (1,3) –Cartan null Bertrand curve in \mathbb{R}_2^4 with the Frenet frame $\{L, N, U, W\}$ and the curvatures $K, (\tau - p), p$ and $\beta^*: I^* \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ be a (1,3) –Bertrand mate curve of β with the Frenet frame $\{L^*, N^*, U^*, W^*\}$ and the curvatures $K^*, (\tau^* - p^*), p^*$.

Theorem 4.3. Let $\beta: I \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ be a Cartan null quaternionic curve with curvature functions $K = 1, (\tau - p) \neq 0$ and $p \neq 0$. Then the curve β is a (1, 3) –Bertrand curve with Bertrand mate β^* if and only if one of the following condition holds:

there exist constant real numbers $b \neq 0, a, \gamma \neq 0$ and μ satisfying

$$a(\tau - p) + bp = -1, p^2 - (\tau - p)^2 = \frac{b^2}{\gamma^4}, \mu = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

In this case, β^* is a Cartan null quaternionic curve in \mathbb{R}_2^4 .

Proof. Assume that β is a (1,3) –Bertrand Cartan null quaternionic curve parametrized by pseudo arc-length s and with Cartan first curvature always equal to 1, the second curvature and the third curvature are always a non zero, and the curve β^* is the (1,3) –Bertrand mate curve with pseudo arc-length s^* of the curve β . Let β^* be a Cartan null quaternionic curve. Then, we can write the curve β^* as

$$\beta^*(s^*) = \beta(s) + a(s)N(s) + b(s)W(s), s^* = f(s) \tag{4.1}$$

for all $s \in I$ where $a(s)$ and $b(s)$ are non zero constant. Differentiating (4.1) with respect to s and using Cartan frame (2.1), we obtain

$$L^*f' = (1 + a(\tau - p) + bp)L + a'N + bU + b'W \tag{4.2}$$

Since L^* is null, $h(L^*, L^*) = L^* \times \alpha L^* = 0$ hold. We obtain $(1 + a(\tau - p) + bp)b = 0$. Here, $a = -(1/(\tau - p))$ if $b = 0$, this is a contradiction with our assumption, and $a(\tau - p) + bp = -1$ if $b \neq 0$. By taking the scalar product of (4.2) with N and W , respectively, we have $a' = b' = 0$. Substituting it in (4.2), we have

$$L^*f' = (1 + a(\tau - p) + bp)L + bU. \tag{4.3}$$

If we denote

$$\delta = \frac{1+a(\tau-p)+bp}{f'} \text{ and } \gamma = \frac{b}{f'} \tag{4.4}$$

we obtain

$$L^* = \delta L + \gamma U. \tag{4.5}$$

Since L^* is null, $h(L^*, L^*) = L^* \times \alpha L^* = 0$ hold. We obtain $\delta\gamma = 0$. Here, $L^* = \gamma U$ if $\delta = 0$ and $L^* = \delta L$ if $\gamma = 0$, which is a contraction. Thus $\gamma \neq 0$ and $\delta = 0$ which leads that $b \neq 0$ and $a(\tau - p) + bp = -1$. Then, we get $L^* = \gamma U$. Differentiating it with respect to s and using the Frenet formulas (2.1), we obtain

$$W^*f' = -\gamma(\tau - p)N + \gamma pW. \tag{4.9}$$

On the other hand, the condition $h(W^*, W^*) = W^* \times \alpha W^* = 1$

holds for null quaternionic Bertrand curves, from (4.4) and (4.9), we obtain $p^2 - (\tau - p)^2 = \frac{b^2}{\gamma^4}$, where $p^2 \neq (\tau - p)^2$. If we denote

$$\lambda_1 = -\frac{\gamma(\tau-p)}{f'} \text{ and } \lambda_2 = \frac{\gamma p}{f'} \tag{4.10}$$

from (4.10), we get

$$W^* = \lambda_1 N + \lambda_2 W.$$

Differentiating it with respect to s and using the Frenet formulas (2.1), we get

$$f'p^*L^* + f'U^* = (\lambda_1(\tau - p) + \lambda_2 p)L + \lambda_1'N + \lambda_2 U + \lambda_2'W \tag{4.11}$$

By taking the scalar product of (4.11) with N and W , we have $\lambda_1' = \lambda_2' = 0$. From (4.10), we find $\mu = -\frac{(\tau-p)}{p}$, where $\mu = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \pm 1$.

Conversely, assume that β is a Cartan null quaternionic curve and the condition

$$a(\tau - p) + bp = -1, p^2 - (\tau - p)^2 = \frac{b^2}{\gamma^4}, \mu = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

holds for constant real numbers $b \neq 0$, $a, \gamma \neq 0$ and μ . Then, we can define a curve β^* as

$$\beta^*(s^*) = \beta(s) + a(s)N(s) + b(s)W(s), s^* = f(s) \tag{4.12}$$

Differentiating (4.12) with respect to s and using the Frenet formulas (2.1), we find

$$\frac{d\beta^*}{ds} = bU \tag{4.13}$$

Differentiating (4.13) with respect to s and using the Frenet formulas (2.1), we obtain

$$\frac{d^2\beta^*}{ds^2} = -(\tau - p)bN + bpW \tag{4.14}$$

From (4.14), we have

$$h\left(\frac{d^2\beta^*}{ds^2}, \frac{d^2\beta^*}{ds^2}\right) = \frac{b^4}{\gamma^4} \tag{4.15}$$

Now, we find

$$f' = \left| h \left(\frac{d^2\beta^*}{ds^2}, \frac{d^2\beta^*}{ds^2} \right) \right|^{\frac{1}{4}} = m \frac{b}{\gamma} \quad (4.16)$$

where $m = \pm 1$ such that $m \frac{b}{\gamma} > 0$. Rewriting (4.13), we get

$$L^* = m\gamma U \quad (4.17)$$

Differentiating (4.17) with respect to s and using the Frenet formulas (2.1), we obtain

$$\frac{dL^*}{ds^*} = -\frac{m\gamma(\tau-p)}{f'} N + \frac{m\gamma p}{f'} W \quad (4.18)$$

From (4.18), we have

$$K^* = \left\| \frac{dL^*}{ds^*} \right\| = 1 \quad (4.19)$$

Now, we can find

$$W^* = -\frac{m\gamma(\tau-p)}{f'} N + \frac{m\gamma p}{f'} W \quad (4.20)$$

where $h(W^*, W^*) = 1$. If we denote

$$\lambda_3 = -\frac{m\gamma(\tau-p)}{f'} \text{ and } \lambda_4 = \frac{m\gamma p}{f'} \quad (4.21)$$

we get

$$W^* = \lambda_3 N + \lambda_4 W \quad (4.22)$$

From last two conditions of (4.1), we get $(\tau-p)$ and p are constants, which leads that $\lambda_3' = 0$ and $\lambda_4' = 0$. Differentiating (4.22) with respect to s and using the Frenet formulas (2.1), we obtain

$$(p^* L^* + U^*) f' = (\lambda_3(\tau-p) + \lambda_4 p) L + \lambda_4 U \quad (4.23)$$

Substituting (4.21) in (4.23), we get

$$\frac{dW^*}{ds^*} = \frac{m}{\gamma} L + \frac{m\gamma p}{(f')^2} U \quad (4.24)$$

From (4.24), we can define p^* as

$$p^* = \frac{1}{2} h \left(\frac{dW^*}{ds^*}, \frac{dW^*}{ds^*} \right) = \frac{p}{(f')^2}$$

Now, we can define U^* and N^* as

$$U^* = \frac{m}{\gamma} L$$

$$N^* = \frac{(p^* m\gamma(\tau-p))}{f'(\tau-p)^*} N + \frac{m}{f'(\tau-p)^*} \left[p^* \gamma + \frac{1}{\gamma} \right] W$$

Also, $(\tau-p)^*$ is defined as follows

$$(\tau-p)^* = h \left(\frac{dN^*}{ds^*}, U^* \right) = \left(-\frac{1}{\gamma^2 f'} + \frac{p^2}{(f')^3} \right)^2$$

Thus β is a (1,3)–null quaternionic Bertrand curve and its (1,3)–null quaternionic Bertrand mate curve is a Cartan null quaternionic curve.

For other frame, the proofs can be done similarly.

Conclusion Characterizations of the curves are very important in terms of differential geometry. We obtain a characterization for null quaternionic Bertrand Curves.

Acknowledgements

The author would like to thank the referees for their helpful suggestions.

References

- Bejancu, A. (1994). *Lightlike Curves in Lorentz Manifolds*. Publ. Math. Debrecen 44, 145—155.
- Bharathi K. & Nagaraj M. (1987). Quaternion Valued Function Of A Real Variable Serret-Frenet Formulae. Indian Journal Pure Applied Mathematics 18(6), 507-511.
- Bonnor W. B. (1969). Null Curves in a Minkowski Space-time. Tensor N.S. 20, 229-242.
- Çöken A. C. & Tuna A. (2004). On The Quaternionic Inclined Curves İn the Semi- Euclidean Space E_2^4 , Applied Mathematics and Computation 155, 373-389.
- Duggal K. L. & Jin D.H. (2007). *Null Curves And Hypersurfaces of Semi-Riemannian Manifolds*. Copyriht C 2007 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Fernandez A., Gimenez A., & Lucas P. (2001). Degenerate Curves İn Pseudo-Euclidean Spaces Of İndex Two. Proc. 3rd Internat. Conf. On Geometry, Integrability and Quantization, Varna, Bulgaria, June 14--23, 209—223.
- Gök İ. & Aksoyak F. (2013). Characterizations Of The Quaternionic Bertrand Curve in Euclidean Space. E^4 , arXiv:1302.2809v2
- Keçilioğlu O. & İlarıslan K. (2013). Quaternionic Bertrand Curve in Euclidean Space E^4 . Bulletin of Mathematical Analysis & Applications.
- Matsuda H. & Yorozu S. (2003). Notes on Bertrand Curves. Yokohama Math. J. bb, 50, 41—58.
- Tuna Aksoy A. & Çöken A. C. Serret-Frenet Formulae For Null Quaternionic Curves in Semi Euclidean 4-Space \mathbb{R}_2^4 . submitted.
- Tuna Aksoy A.,(2016). Null Quaternionic Bertrand Curves İn Minkowski Space \mathbb{R}_1^4 . Acta Phys Pol A 130(1): 256—258.
- Tuna Aksoy A. & Çöken A.C. (2017). Null Quaternionic Cartan Helices in \mathbb{R}_0^3 ,. Acta Phys Pol A , 132(3-II): 896-899
- Uçum A., İlarıslan K. & Sakaki M. (2016). On (1, 3)-Cartan Null Bertrand Curves in Semi-Euclidean 4-Space With İndex 2. Journal of Geom. 107, 579—591. DOI 10.1007/s00022-015-0290-2



Kütahya-Gediz Koşullarında Yetiştirilen Rezene (*Foeniculum vulgare Mill.*) Bitkisinin Uçucu Yağ Bileşenlerinin Belirlenmesi

Hasan Basri Karayel^{1*}

¹ Dumlupınar Üniversitesi Gediz Meslek Yüksekokulu, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4271-0540)

(İlk Geliş Tarihi 7 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 5 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

ATIF/REFERENCE: Karayel, H. B. (2019). Kütahya-Gediz Koşullarında Yetiştirilen Rezene (*Foeniculum vulgare Mill.*) Bitkisinin Uçucu Yağ Bileşenlerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 131-135.

Öz

Bu araştırma, 2015 yılında Kütahya ili Gediz ilçesinde Rezene (*Foeniculum vulgare Mill.*) bitkisinin uçucu yağ bileşenlerini ve uçucu yağ oranını belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Tarla denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Tohumlar 20 cm sıra arası ve 30 cm sıra üzeri mesafede dikilmiş yılda iki biçim yapılmıştır. *Foeniculum vulgare Mill.*'nin toprak üstü kısımlarının (Meyve) uçucu yağları analiz edilmiştir. Bu bitkilerin uçucu yağları hidrodestilasyon (GC_MS/FID) yoluyla elde edilmiştir. Lokasyondaki uçucu yağ oranı sırasıyla birinci ve ikinci biçim %1,83 - %1,51 olarak saptanmıştır. Uçucu yağda ana bileşen olarak birinci biçimde; trans-anethole %85,82, limonene %5,94, p-allylanisole %4,26, fenchone %1,20, ikinci biçimde, trans-anethole %91,08, p-allylanisole %4,18, limonene %2,77 olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonunda; uçucu yağ bileşenlerinin terbenler bakımından daha zengin olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Foeniculum vulgare Mill.*, Uçucu yağ, Trans-anethole

Determination of Essential Oil Components of Fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) Grown in Kütahya-Gediz Conditions

Abstract

This research was carried out in 2015 in Kütahya-Gediz district in order to determine the volatile oil components and volatile oil rates in the fennel plant (*Foeniculum vulgare Mill.*). Field experiments were repeated in 3 replicates according to randomized block design. The seedlings were planted by a horizontal distance of 30 cm and vertical distance of 20 cm. The volatile oils of the above-ground parts of *Foeniculum vulgare Mill.* (fruit) were analyzed. This plant's volatile oil was obtained by hydrodistillation method (GC_MS/FID). The volatile oil rates for the first and second harvest were determined 1,83% and 1,51% respectively. The main components of the volatile oil were determined as follows for the first harvest; trans-anethole 85,82%, Limonene 5,94%, p-allylanisole 4,26%, Fenchone 1,20% whereas these rates were as follows for the second harvest; trans-anethole 91,08%, p-allylanisole 4,18%, Limonene 2,77%. As a result of the study, the essential oil components were found to be richer in terpenes.

Keywords: *Foeniculum vulgare Mill.*, Essential oil, Trans-anethole

¹ Sorumlu Yazar: Dumlupınar Üniversitesi Gediz Meslek Yüksekokulu, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler, Kütahya kbasri23@hotmail.com, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4271-0540, kbasri23@hotmail.com

1. Giriş

Tıbbi bitkiler son yıllarda hem ülkemizde hem de dünyada gıda, ilaç, parfüm ve kozmetik sektöründe çok amaçlı olarak kullanılmaktadır. Tıbbi bitkilerin kültürünün daha bilinçli yaygın şekilde yapılması gerekmektedir. Rezene tıbbi değeri olan önemli bir baharat bitkisidir. Rezenenin gıda ve baharat olarak kullanımının dışında, tedavi edici olduğundan dolayı ilaç olarak ta faydalanılmaktadır. Midevi, gaz söktürücü, süt çoğaltıcı ve yatıştırıcı özelliklere sahip olduğundan meyveleri infüzyon (%1-2) veya toz halinde kullanılır (Baytop, 1984). Bir baharat ve ilaç bitkisi olan rezene; drog olarak bitkinin meyvelerine ilaveten yaprakları yara iyi edici, kökleri ise idrar artırıcı olarak kullanılır (Baytop,1999). Rezene üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde meyvelerden elde edilen uçucu yağın antimikrobiyal, antioksidan, sekretolitik ve ekspektoran etkileri olduğu belirlenmiştir. Uçucu yağın ana bileşeni trans-anetol'ün östrojenik, lokal anestezik, anti-tümör ve anti-genotoksik etkilerinin bulunduğu görülmektedir (Escop, 2003). Ankara koşullarında tatlı rezene bitkisinde uçucu yağ oranı %1,93-2,28 arasında değişim göstermiştir (Özkan, 1999). Bu çalışma 1998-2000 yıllarında taban ve kıraç alanlarda yetiştiriciliği yapılan rezene bitkisinin sonbahar ve ilkbaharda, tohum ekimleri ve pençe dikimleri yapılmıştır. En yüksek değerler; taban koşullarda, sonbaharda pençeyle çoğaltılan bitkilerden; kıraç koşullarda ise sonbaharda tohumla çoğaltılan bitkilerden elde edilmiştir. Denemenin ikinci yılında incelenen tüm özelliklerde değer artışı gözlenmiştir. Taban koşullarda pençeyle, kıraç koşullarda tohumla üretim verim bakımından daha avantajlı olacağı belirlenmiştir (Oğuz, 2000). Karadağ'da yabani olarak yetişen rezene (Foeniculum vulgare Mill.)'de tohumların değişik ekstraksiyon şartlarında yapılan bir çalışmada elde edilen ekstraktlar su destilasyonu vasıtasıyla izole edilen rezene tohumu yağı ile karşılaştırılmıştır. SC-CO₂'da, hidrodistile yağdan, büyük bileşikler, sırasıyla trans-anetol (%68,6-75,0) ve (%62,0), metil kavikol (%5,09-9,10) ve (%4,90), ve fenchone (%8,40-14,7) ve (%20,3)'dür. Duyusal testler sudistilesi (hidrodistile yağların) yağların, SC-CO₂ ile elde edilen ekstraktların, rezene tohumları aromasının daha az yoğun olduğunu doğrulamıştır (Damjanovic ve ark., 2005). Farklı koşullarda yetiştirilen rezene meyvelerinin uçucu yağ bileşenlerini inceledikleri bir çalışmada, meyvenin farklı kültür koşullarına bağlı olarak ana bileşenleri trans-anetol %60,6-87,0, anisaldehit %6,1-21,3, estragol %3,2-11,7, α -fenkon %0,7-3,2, limonen %0,3-2,5, karvon %0,3-1,0 ve cis-anetol %0,2-0,9 aralığında bulunmuştur (Kan ve ark., 2006). Avrupa farmakopesinde hem tatlı hem de acı rezene meyvelerine ait monograf bulunmaktadır. F. vulgare var. vulgare'den en az 40 ml/kg uçucu yağ elde edilmelidir ve uçucu yağın bileşiminde en az %60 anetol, en az %15 fenkon ve en fazla %5 estragol içermelidir. F. vulgare var. dulce'den ise en az 20 ml/kg uçucu yağ elde edilmelidir ve uçucu yağın bileşiminde en az %80 anetol, en fazla %7,5 fenkon ve en fazla %10 estragol içermesi gerektiği kayıtlıdır (European Pharmacopoeia, 2002).

Bu çalışmada Ülkemizde ekonomik olarak büyük bir öneme sahip olan rezene bitkisinin Kütahya-Gediz bölgesinin üretim deseninde yer almadığı, ancak yapılan bu çalışma ile bölgemizde rahatlıkla bir yılda iki biçim yapılabileceği, yapmış olduğumuz bu çalışmamızla belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda uçucu yağ miktarı ve uçucu yağ kompozisyonunun hangi biçim döneminde daha yüksek olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneme Yerinin İklim Ve Toprak Özellikleri

Kütahya ili Gediz ilçesindeki lokasyonun toprak analizi Tablo 1'de verilmiştir. Lokasyonun Tablo 1'e göre potasyum ve fosfor bakımında zengin olmadığı görülüyor. Kireç oranı yüksek bulunmuştur, organik madde bakımında fakir, toprak doygunluğu killi - tınlı olduğu analizler sonucunda belirlenmiştir (Anonim, 2015b).

Tablo 1. Deneme alanına ait toprak örneklerinde yapılan bazı kimyasal analiz sonuçları

Analiz Tipi- kütahya	Sonuç	Durumu
Potasyum (K ₂ O) kg/da	20,0123	orta
Fosfor (P ₂ O ₅) Kg/da	6,231	orta
Kireç(%)	4,0318	Kireçli
Organik Madde (%)	0,7862	Çok az
Toplam Tuz (%)	0,0035	Tuzsuz
PH	7,14	Nötr
Saturasyon(%)	53,3	Killi-Tınlı

Tablo 2. Deneme yerine ait 2015 yılına ilişkin Meteoroloji Rasat Cetveli

Aylık	Yıl	Aylar											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ortalama sıcaklık °C	201 5	2,5	4,3	7,4	9,4	17,5	19,0	24,8	24,5	22,5	15,2	9,7	3,2
Aylık ortalama nem (%)	201 5	82,1	77	77,2	63,4	60,6	71,9	50,8	57,7	56,9	68,7	66,9	69,5
Aylık ortalama Yağış (mm)	201 5	0	29,6	76,8	31	72,8	90,7	7,8	51,1	10,2	25,8	60,8	0,4

*Devlet Meteoroloji işleri Genel Müdürlüğü Aylık Klimatoloji Rasat Cetveli

Kütahya ili Gediz ilçesi yazları sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı bir iklime sahiptir. Gediz 'de Tablo 2'deki verilere göre en sıcak aylar, Temmuz ve Ağustos, en soğuk aylar Ocak ve Şubat'tır. En düşük ölçülen sıcaklık ise 2,5 0C dir. Yıllık yağış miktarı 457,08 mm'dir. En yağışlı ay Mayıs-Haziran, en kurak ay Eylül dür (Anonim., 2015a). İç Ege bölgesinde bulunan Kütahya'da karasal iklim hâkimdir ama Gediz ilçesinde ılıman bir iklim hakimdir bu neden dolayı uçucu yağ kompozisyonu iklim durumuna göre olumlu veya olumsuz olarak etkilenir.

2.1.1. Bitki Materyali

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan tohumlar Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde temin edilmiştir. Deneme Kütahya Dumlupınar üniversitesi Gediz Meslek Yüksekokulu Uygulama alanında yürütülmüştür. Tohumlar 2015 yılı Mart ayının ilk haftasında deneme alanına direk ekilmiştir. Tohumların çimlenmesi 15-20 gün sürmüştür. Tarla denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bitki dikim sıklığı 20 cm sıra arası, 30 cm sıra üzeri mesafelerine göre düzenlenmiş, her parsel 3 sıradan oluşmuştur. Her sıraya 24 bitki olmak üzere, bir parselde 24x3 =72 bitki ekilmiştir. Bitkiler çimlenene kadar hortumla sulanmış. Gözlemler ve ölçümler her parselde sağlıklı 60 bitki içerisinde etiketlenen 10 adet bitkiden elde edilen meyve örneklerinde yapılmıştır. Bir yılda iki biçim yapılmıştır. Birinci biçim 10.07. 2015 tarihinde rezene meyvelerinin olgunlaşmaya başladığı zaman hasat edilmiştir. Uçucu yağ oranı hasat edilen rezene meyvelerinin tanelerinde elde edilmiştir. Hasat toprak üstüne paralel olacak şekilde 10 cm yükseklikte kesilerek hasat edildi. Kökler (pençeler) toprakta kaldı ve tekrar sulanmaya başlandı bir hafta sonra tekrar rezene bitkisi yavaş yavaş büyümeye başlamıştır. İkinci hasat 25.10.2015 tarihinde yapılmıştır. İkinci hasatta gün sayısının düşük olmasının nedeni birinci hasatta toprakta kalan kökler (pençeler) bitkinin büyüme hızını etkilemiş ikinci hasat tarihini azda olsa öne çekmiştir.

2.1.2. Uçucu Yağ Elde Edilmesi

Deneme uçucu yağ analizinin başlangıcında 20 g kuru materyal tartılarak 500 ml'lik balona alınmıştır. Üzerine 200 ml (örnek miktarına göre değişebilir, yaklaşık 10 kat) saf su eklenip çalkalanmıştır. İki saat süreyle hidrodestilasyon işlemine tabi tutularak uçucu yağ elde edilmiştir. Sistem soğuduktan sonra ve dereceli kısma toplanan uçucu yağ sulu fazdan ayrıldıktan sonra miktarı (ml) tespit edilmiştir. Tartımı alınan örnek miktarına (g) göre 100 g örnekteki uçucu yağ miktarı uçucu yağ oranı (%) olarak hesaplanmıştır (Skoula ve ark., 2000).

2.1.3. Uçucu Yağ Kompozisyonunun GC-MS ile Belirlenmesi

Örnekler 1:100 oranında hekzan ile seyreltilip Gaz kromatografisi (Agilent 7890A) cihazına 1 µl olarak 40:1 split oranı ile enjekte edilmiştir. Bileşenlerin ayrımı için kapiler kolon (HP InnowaxCapillary; 60.0 m x 0.25 mm x 0.25 µm) kullanılmıştır. Kolon, bitiminde bir ayraç (splitter) yardımıyla FID ve kütle spektrometresi dedektörüne (Agilent 5975C) akış 1:1 oranında olacak şekilde ikiye ayrılmıştır. Analizde taşıyıcı gaz olarak 0.8 ml/dk akış hızında helyum kullanılmıştır. Enjektör sıcaklığı 250°C'de tutulmuş, kolon sıcaklık programı - 60°C'de 10 dakika, 60°C'den 220°C'ye 4°C/dakika (40 dakika) ve 220°C'de 10 dakika - toplamda 60 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Kütle dedektörü için tarama aralığı (m/z) 35-450 atomik kütle ünitesi ve elektron bombardımanı iyonizasyon enerjisi 70 eV'dir. Uçucu yağın bileşenlerinin teşhisinde OIL ADAMS, WILEY ve NIST kütüphanelerinin verileri esas alınmıştır. Uçucu yağ bileşen oranlarında ise FID dedektörünün verileri kullanılmıştır (Özek ve ark., 2010).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada, Rezene bitkisinin (*Foeniculum vulgare* Mill.) meyvelerindeki uçucu yağ oranı ve kompozisyonunun birinci ve ikinci biçimde elde edilen oranları sırasıyla %1,83-1,51 olarak ölçülmüştür.

3.1. Uçucu Yağ Oram (%)

Uçucu yağ oranı konusunda yapılan çalışmalarda; Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde yapılan çalışmada uçucu yağ oranı %1,93-2,28 arasında değişim göstermiştir (Özkan, 1999). Samsun ekolojik şartlarında yapılan çalışmada ise %2,43 olarak tespit edilmiştir (Karaca ve Kevseroğlu, 2001). Rezene bitkisinin (*Foeniculum vulgare* Mill.) önemli bazı özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada uçucu yağ oranı %1,51-1,69 aralığında bulunmuştur (Arabacı ve Bayram, 2005). Farklı yetiştirme dönemlerinde rezene tohumlarının uçucu yağ oranı %1,18-1,31 arasında değişiklik göstermiştir (Saharkhiz ve Tarakeme, 2011). Birinci ve ikinci biçimde elde edilen uçucu yağ oranı yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer bulunmuştur.

3.2. Uçucu Yağın Bileşimi (%)

Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) meyvelerinde elde edilen uçucu yağın analizinde birinci ve ikinci biçimde sırasıyla 7 ve 6 bileşen tanımlanmıştır. Bu bileşenler toplam yağın birinci biçimde %98,94, ikinci biçimde %99,99'lük kısmını oluşturmuştur. Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) türüne ait meyvelerinde elde edilen uçucu yağ oranı ve uçucu yağ bileşenlerin değerleri birinci yıl iki biçimde elde edilen örneklerde belirlenmiştir. Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) türünün uçucu yağ bileşenlerin değerleri ayrı ayrı olacak şekilde Çizelge 3.2.1'de gösterilmiştir. Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) bitkisinin birinci biçim ortalamasında elde edilen uçucu yağ ana bileşenleri; trans-anethole %85,82, limonene %5,94, p-allylanisole %4,26, ikinci biçim ortalamasında elde edilen uçucu yağ ana bileşenleri; trans-anethole %91,08, limonene %2,77, p-allylanisole %4,18, değişim göstermiştir. Biçim (Meyvede) sayısına göre uçucu yağın ana bileşenleri sırasıyla, trans-anethole, limonene, p-allylanisole, olarak bulunmuştur. Rezene bitkisinin biçim sayısına göre uçucu yağ bileşenleri belli oranda değişiklik göstermiştir. *Foeniculum vulgare* Mill. türünün ana bileşeni trans-anethole olarak gerçekleşmiştir. *Foeniculum vulgare* Mill. türünün ana bileşenleri Çizelge 3.2.1'de verilmiştir. Çalışmamız benzer şekilde; Damjanoviz ve ark. (2005)'nın Karadağ'da yabani olarak yetişen rezene tohumları üzerine yaptıkları araştırmada trans-anethole miktarını %68,6 ile %75,0 aralığında bulunmuştur. Kan ve ark. (2006), farklı kültür koşullarına bağlı olarak rezene bitkisinin uçucu yağdaki ana bileşenler sırasıyla, trans-anetol %60,6-87,0, anisaldehyt %6,1-21,3, estragol %3,2-11,7, α -fenkon %0,7-3,2, limonen %0,3-2,5, karvon % 0,3-1,0 ve cis-anetol %0,2-0,9 olduğunu tespit etmişlerdir.

Çizelge 3.2.1. *Foeniculum vulgare* Mill. türünün (2015 yılı) uçucu yağının biçim sayısına göre bileşen miktarının (%) değişimi

S.no	Bileşen adı	Meyve	
		1.Biçim	2.Biçim
1-Limonene		5,94±0,14142	
2-cis-ocimene		0,25±0,14142	-
3-Fenchone		1,20±0,021213	1,33±0,021213
4-p-allylanisole		4,26±0,014142	4,18±0,028284
5-Carvone		0,56±0,035355	0,28±0,021213
6-trans-anethole		85,82±0,141421	91,08±0,311127
7-p-anisaldehyde		0,91±0,657609	0,35±0,021213
Toplam (%)		%98,94	%99,99

Farklı gelişme dönemlerinde rezene tohumlarının uçucu yağ içeriği ve bileşenleri üzerine yapılan bir çalışmada ana bileşen olarak, trans-anethole'nin farklı olgunlaşma dönemlerine göre %84-%86 aralığında değişim göstermiştir (Saharkhiz ve Tarakeme, 2011). Farklı (Norveç, Estonya, Avusturya, Moldovya, Türkiye) ülkelerde temin edilen rezene örneklerinin uçucu yağ içeriği incelenmiş olup, trans-anethol oranı en yüksek (%82) Estonya, en düşük Türkiye'de (%34) toplanan örneklerde bulunmuştur. Bitkilerin yetiştirildiği ekolojik şartlara göre yağ bileşenlerinde önemli değişikliklerin olduğu sonucuna varılmıştır (Raal ve ark., 2012). Birinci ve ikinci biçimde elde edilen trans-anethole oranı yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer bulunmuştur.

4. Sonuç

Araştırmanın sonucuna göre, Kütahya–Gediz bölgesinde yapılan çalışmada *Foeniculum vulgare* Mill. türünün meyvelerinde elde edilen uçucu yağ oranları ve uçucu yağların bileşenleri belirlenmiştir. Uçucu yağ oranı en yüksek birinci biçimde %1,83 olduğu tespit edilmiştir. *Foeniculum vulgare* Mill. türünün meyvelerinde birinci biçimde elde edilen ana bileşen trans-anethole %85,82 (Temmuz ayında ortalama sıcaklık 24,5 oC), ikinci biçimde trans-anethole %91,08 (Ekim ayında 15,2 oC) olarak değişim göstermiştir. İkinci biçimde trans-anethole yüksek çıkmasının sebebi iklim değişimi gösterilebilir. İkinci biçimde en yüksek olan trans-anethole en önemli ana bileşen olduğundan dolayı, bu bileşen için ikinci biçim önerilebilir. Kütahya ili Gediz ilçesinde tarımı yapılan *Foeniculum vulgare* Mill. türünün uçucu yağ oranı ve kalitesi bakımından oldukça verimli olduğu söylenebilir.

Kaynakça

- Anonim, 2015a. İklim Verileri. Kütahya Meteoroloji İl Müdürlüğü, Kütahya.
- Anonim 2015b. Toprak Analizi Sonuçları. Kütahya Ziraat Odası Başkanlığı, Kütahya.
- Arabacı, O., Bayram, E. 2005. Farklı Sıra Arası ve Tohumluk Miktarlarında Kışniş (*Coriandrum sativum* L.)'in Bazı Morfolojik ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi, Antalya, 535-540.
- Baytop, T. 1984. Türkiye’de Bitkiler İle Tedavi. İstanbul Üniv. Yay. No: 3255, Ecz. Fak. Yay. No: 40, İstanbul.
- Baytop, T. 1999. Türkiye’de Bitkilerle Tedavi. Nobel Tıp Kitabevleri, 2. baskı, s. 320.
- Damjanovic, B., Lepojevic, Z., Zivkovic, V., Tolic, A. 2005. Extraction of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds with supercritical CO₂: Comparison with hydrodistillation, Food Chemistry, 92, 143–149.
- European Pharmacopoeia, 4th edition, Council of Europe, Strasbourg (2002).
- Escop, Escop Monographs, 2nd edition, Thieme, New York, 162-168 (2003).
- Kan, Y., Kartal, M., Aslan, S., Yıldırım, N. 2006. Farklı koşullarda Yetiştirilen Rezene Meyvelerinin Uçucu Yağ Bileşenleri, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi, 35 (2), 95-101.
- Karaca, A., Kevseroğlu, K. 2001. Kışniş (*Coriandrum sativum* L.) ve Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) Bitkilerinde Fenolojik, Morfolojik ve Bazı Teknik Özellikler Üzerinde Araştırmalar, Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi, Tekirdağ, 243-248.
- Oğuz, A. 2000. Rezene (*Foeniculum vulgare* var. dulce)’de Farklı Yetiştirme Yöntemlerinin Verim ve Uçucu Yağ Oranına Etkisi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, I.
- Özkan, F. 1999. Tatlı Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. Var. Dulce)’de Bitki Sıklığının Verim ve Verim Ögeleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, I.
- Özek, T., Tabanca, N., Demirci, F., David E. Wedgeand K. Hüsnü Can Başer. 2010. Enantiomeric Distribution of Some Linalool Containing Essential Oil and Their Biological Activities. Rec. Nat. Prod. 4:4. 180-192.
- Raal, A., Orav, A., Arak, E. 2012, Essential Oil Composition of *Foeniculum vulgare* Mill. Fruits From Pharmacies in Different Countries, Natural Product Research, 26 (13), 1173–1178.
- Saharkhiz, M.J., Tarakeme, A. 2011, Essential Oil Content and Composition of Fennel (*Foeniculum vulgare* L.) Fruits at Different Stages of Development, Journal Of Essential Oil Bearing Plants, 14 (5), 605-609.
- Skoula, M., J. E. Abbes, C. B. Johnson. 2000. Genetic variation of volatile sandros marinicacidin populations of *Salvia fruticosa* Mill, growing in Crete. Journal of Biochemica lSyste matics and Ecology, 28:551-561.



Otizm Spektrum Bozukluğu Olan Çocukların Geometrik Şekillerdeki Algı Seviyelerinin İncelenmesi

Erol Özçekiç^{1*}, Ediz Şaykol²

¹ Balıkesir Üniversitesi, Bigadiç Meslek Yüksekokulu, Balıkesir;

² Beykent Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul

(İlk Geliş Tarihi 31 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 19 Nisan 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.519509)

ATIF/REFERENCE: Özçekiç, E. & Şaykol, E. (2019). Otizm Spektrum Bozukluğu Olan Çocukların Geometrik Şekillerdeki Algı Seviyelerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 136-145.

Öz

Bu araştırmanın amacı otizmlili öğrencilere verilen grafik dersleri yardımıyla algı düzeylerinin gözlem ve anket yöntemi etkinliği ile incelenmesidir. Bunun için mandala tekniği tercih edilmiş olup her öğrenciye birer mandala çizimi verilmiştir. Böylece grafiksel şekilleri tanıyıp tanımadığı, düzenli boyayıp boyayamadığı, nesnelere keşfedebilmesi, dikkat konuları üzerinde gözlem ve istatistiksel değerlendirme yapılacaktır. Araştırmada 100'e yakın denek kullanılması düşünülmektedir. Çalışmada yaşları 4-40 arasında değişen otizmlili öğrenciler ile yaygın gelişimsel bozukluk gösteren otizmlili öğrencilerle çalışılmıştır. Araştırmamızda haftanın 5 günü ve toplu, tekli ders oturumları ile öğretim, izleme ve etkinlik oturumları yapılmış, anlama, güvenilirlik ve algı seviyesi verileri toplanmıştır. Verilerin çözümlenmesi esnasında SPSS analiz programından yararlanılmıştır. Araştırma bulguları deneklerin; "Geometrik şekil nedir?" kavram bilgisini %85'ten fazla tam olarak kazandıkları ve elde edilen bu kazanımları, öğretim bittikten bir ay sonra bile olsa ortalama %80 düzeyinde muhafaza ettikleri ve sınıf ortamı ile sosyal yaşamlarına bir katkı sağladıkları görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Mandala öğretim tekniği, geometrik şekiller, otizm.

Analysis of Children with Autism Spectrum Disorder With Perception Levels in Geometric Shapes

Abstract

The aim of this study is to examine the perception levels with the help of the survey method by the help of the graphical lessons given to the students with autism. For this purpose, mandala technique is preferred and each student is given a mandala drawing. Thus, whether or not he recognizes the graphical shapes, he cannot paint regularly, he can discover the objects, observation and statistical evaluation will be made on the subjects of attention. Approximately 100 subjects are considered in the study. In this study, students with autism with ages ranging from 4 to 40 were studied. In our study, 5 days of the week and collective, single lecture sessions, training, monitoring and activity sessions were held, and data of comprehension, reliability and perception level were collected. SPSS analysis program was used to analyze the data. Research findings of the subjects; What is a geometric figure? they gained more than 85% of the concept knowledge, and these gains were maintained at an average of 80%, even one month after the end of teaching, and contributed to their social lives through the classroom environment.

Key Words: Mandala instructional technique, geometric shapes, autism.

² Sorumlu Yazar: Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, ediz.saykol@beykent.edu.tr

1. Giriş

Tüm ebeveynlerin isteği annenin hamile olduğunu duyduktan sonra sağlıklı bir çocuğu dünyaya getirme arzusuna sahip olmaktır. Günümüzde en sık görülen engelli çocuklardan bir bölümünü de otizmliler oluşturmaktadır. Otizm genel itibarıyla hayatın ilk safhalarında belirginlik gösteren ve varoldukça süregelen toplumsal diyalog, duygu, tutum ve zihinsel gelişimde yavaşlama ve sapma ile beliren duygu-düşünce durumu bozukluğudur. (Üstüner Top, 2009, Güleç-Aslan ve ark, 2009).

Özel gereksinime muhtaç fertler gibi, otizmlilerde sosyal yaşamın gerektirdiği çeşitli yeteneklere sahip olmak zorundadırlar. Kendine bakma, günlük hayat aktiviteleri, hesap yapmak, gezip dolaşmak, eğitim ve akademik kabiliyetin içinde bulunan okuma-yazma ile beraber bazı kolay aritmetik işlemlerin gündelik hayatta kullanımı şarttır. Bunların kazanımı ise, öğrenilip devam etmekte olan program ve eğitimlerin elemanlarından, gayelerin, kapsamın düzenlenmesine ve kapsama uyan teknik veya yaklaşımla sunumuna bağlıdır (Özyürek, 1990; Gürsel,1993). Otizmlilerde çocuğun eğitimine başlanılacak nokta; çocuğun yapabileceği seviyedeki beceriler, elinin yatkın olduğu el becerileri ve acil günlük ihtiyaçlarını karşılayabileceği zorluk çeken beceriler olması gerekmektedir. Eğitim programı bir zincir halkası gibi bütündür. Yalnızca okulda çocuğun karşılaştığı problemler değil, dış dünyada ve evde meydana gelen tüm sorunlar öğretmen tarafından bir programa alınmalıdır.

Eğitim programlarındaki hedef ve konular dışında öğrencilerin kişisel özellikleri ve ihtiyaçlarına göre yeni hedef davranışlar da oluşturulabilir. Öğretmen bazen bireysel bazen de toplu öğrenci gruplarıyla çalışmalarını devam ettirmelidir.

Otizmlilerde çocukların herbirinin eğitsel gereksinimleri farklılık gösterebildiğinden dolayı öğretmenin hangi konuları gözönüne alarak nasıl hareket etmesi gerektiği hususunun iyi bilinmesi çok büyük önem taşımaktadır.

Otizmlilerde çocuklar kişisel farklılık gösterdiklerinden, performansları da birbirlerinden ayrıdır. Her çocuğun eğitim programına başlanmadan önce öğrencinin gözlemlenmesi gereklidir. Çocukların becerisi ve performansı ölçüt bağımlı ölçü araçları ile tespit edilir. Performans ölçümü yapılırken otizmlilerde öğrencilerden istediğimiz şey açıkça söylenir. Aldığımız sonuçlar tabloya kaydedilir (Güneş, 2013).

Ölçüt bağımlı ölçü araçlarıyla mevcut elimizde bulunan verilerle hedefler belirlenir, sonuca gitmede ara hedefler tespit edilir ve öğretim materyalleriyle bireysel veya toplu eğitim ortamlarında öğretime başlanır.

Ülkemizde otizmlilerde çocuklara geometri öğretimi ve geometrik şekiller öğretimi stratejilerinin araştırıldığı çalışmaların sayısı sınırlıdır. Bu sebepten dolayı yola çıkarak, bu çalışmada belirli süre içerisinde öğretim yöntemiyle sunulan grafik düzenleyicilerle otizmlilerde öğrencilere geometrik şekiller bilgisi kavramları bilgisi verilmiş olup, yaşları ve eğitim seviyeleri farklı olan öğrencilerin geometrik şekilleri algılamaları farklıdır. Ayrıca cinsiyetleri farklı olan grupların geometrik şekiller üzerinde yaptıkları boyama ve tak-çıkarma uygulamaları da birbirlerinden farklılık gösterir. Buna göre aşağıdaki hipotezler test edilmiştir.

H1: Öğrencilerin geometrik şekilleri algılama düzeyleri arasında yaşa göre farklılık vardır.

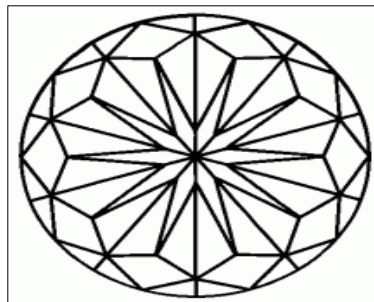
H2: Öğrencilerin geometrik şekilleri algılama düzeyleri arasında eğitim seviyelerine göre farklılık vardır.

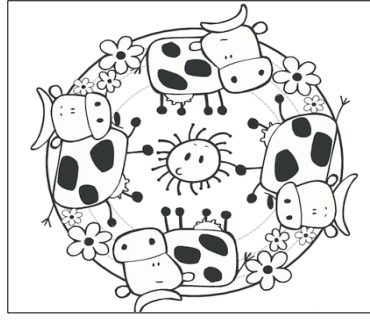
H3: Öğrencilerin geometrik şekilleri algılama düzeyleri arasında cinsiyetlerine göre farklılık vardır.

Belirttiğimiz bu hipotezlere cevap aramak için bir anket geliştirilmiştir. 100' e yakın denek ile başlangıçta çalışılması hedeflenmesine karşın elde edilen N=50 örneklem sayısı verileri ile işlemleri tamamlayıp, analiz sonuçları aranmaya başlanmıştır.

2. Yöntem

Otizm tanısı konmuş çocuklara Mandala eğitim tekniği kullanılarak hem çocukların zinde kalması hem de geometrik şekillerin özelliklerinin algılanması sağlanmaktadır. Mandala, Sanskritçe "büyük daire" anlamına gelen bir kelime olup, kırk bin yıl öncesine dayanan bir tarihe sahip olduğu söylenmektedir. Evreni, hayatı ve varoluşu şekillerle, geometrik figürlerle betimleyen bir bütündür (Berkmen,2009). Mandala desenleri orta bir merkezi noktada başlar, genellikle daire şeklinde olur ve merkezinden dışına doğru genişleyen bir düzene sahip yapılardan ibarettir. Mandalalar özellikle psiko analizciler tarafından çok incelenmiştir ve mandala çizmenin, boyamanın hatta bir mandalaya bakmanın kişinin ruh halini iyileştirdiği, kişiyi rahatlatmış ve eğittiği söylenmektedir.





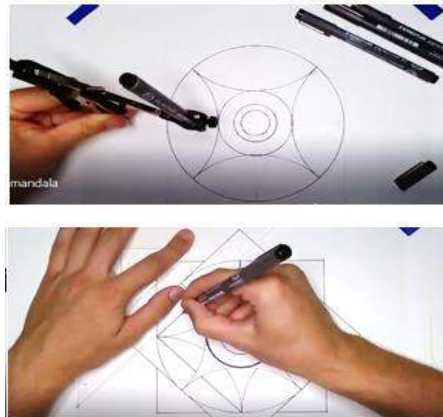
Şekil 1. Yaşlara göre değişen örnek Mandala desenleri

Desende yer alan figürlerin birbiriyle olan sözel ilişkisi, kişinin çevresi ile olan sosyal ahenk, interaktifliği hakkında bilgi sunmasının yanında aynı zamanda toplumun bireyi nasıl algıladığına dair de fikir vermektedir. Bilindiği gibi otistik çocuklar genellikle konuşmaktan kaçındıkları için mandala yöntemiyle kendilerini fikir, his ve davranışsal olarak çok daha iyi anlatabilirler. Mandala uygulamasında figürler basit - kolaydan, zor ve karmaşık olana doğru ilerlemelidir. Aynı zamanda bireylerin yaşlarına uygun figürler kullanılmadır. Mandala çizimi esnasında kullanılan pergel, cetvel, boya, kalem kalemleri çocukların ayrıca el kaslarının ve motor gelişimlerinin ilerlemesine de katkı sunmaktadır. Bunun yanısıra bu yöntem hiperaktif çocuklarda, Alzheimer hastalarında ve terapi tedavisinde günümüzde çokca tercih edilmektedir.

Son zamanlarda popüler olmasıyla birlikte mandala kitapları ve mandala eğitim kursları oldukça yaygınlaşmış durumdadır. Bu kadar fazla insanın ilgisini çekmeyi başaran mandalalar, içerisinde çok farklı potansiyeller barındırmaktadır. Bunlardan biri de matematikteki simetri konularından olan yansıma ve dönme simetrisi ile grafiksel şekillerin öğretimidir.

Eğitimde mandalanın kullanımı okul öncesi seviyeden yüksek öğretim seviyesine kadar her seviyede yapılabilme imkanına sahiptir. Okul öncesi dönemde mandala desenlerinin boyanmasıyla, odaklanılmış bir hedef de olabilir, örneğin yuvarlak şekilleri aynı renge boyayın vb. gibi, ilkökul seviyesinde eş parçalara katlama etkinlikleri ve eş şekilleri boyama etkinlikleri ile ve orta öğretim seviyesinde ise simetri konuları ile ilişkilendirilmesi için farklı mandala desenlerinin incelenmesini içeren çalışmalarla öğretim materyali olarak da kullanılabilir. İçerisinde hayvan desenlerinin yer aldığı tek simetri eksenli mandalalardan, renklendirilmiş mandala desenlerinin incelenmesine ve çizilmiş mandalaların boyanmasına birçok etkinlik farklı amaçlar için kullanılabilir. Otizmlili öğrencilerle yapılmış bir çalışma, örnek bir öğrenme ortamı sunabilir.

Mandalanın çiziminde kâğıt, kalem, cetvel ve pergel gibi malzemelerin kullanılmasıyla, mandala çizimlerinin yapılmasında matematik konuları da işe koşulabilir. Böyle çizimlerin yapılması çember-daire konularında ise ayrı bir öneme sahip olacaktır. Belli bir yarıçap uzunluğuna sahip dairelerin içerisine istenen sayıda simetri eksenine sahip desenlerin oluşturulması ise öğrencilerin öğrendikleri bilgileri kullanmasını sağlayacak bir ortam gerçekleştirilebilir. Mandala çizimlerini yapmakta ve etkinliklerde kullanabileceğiniz mandalaları ayarlamakta yardımcı olacak bir tablet bilgisayar uygulaması da kullanabiliriz. Bu tarzda yapılacak çalışmalar öğrencilerin öğrenme motivasyonlarını artıracak ve matematik ile sanat arasındaki ilişkiyi, geometrik şekillerle nesnelere arasında bağlantı kurmalarında yardımcı olacaktır. Ayrıca, mandala ile yapılan çalışmaların kişinin konsantrasyon becerisini artırdığı, kişinin kendini tanımasını sağladığı, kişiyi sakinleştirdiği ve yaratıcı düşünmesini sağladığı söylenmektedir. Yani öğrencilerin davranışlarını düzeltmelerinde ve kendilerini geliştirmelerinde bir araç olarak kullanılabilir.



Şekil 2. Mandala deseninin oluşturulmasında pergel ve cetvel kullanımı

Mandala belirgin bir figürde sabit duran merkez noktası etrafına şekiller ve figürler yerleştirilerek hazırlanmış geometrik şekillerden oluşan ve basitten zora doğru sıralanmış on çalışma kağıdından oluşmaktadır. Çalışmada öğretmenimiz öğrencisine her bir oturumda yapması gerekenleri söylemiş ve “önündeki şekile dikkatlice bakıp konsantre olduktan sonra, kare olanları sırayla en dıştan içe doğru boya” yönergesini vermiştir. Boyama bittikten sonra çalışma hakkında çocukla, “Kaç tane kare var?, Hangileri büyük,küçük?,Hangileri gizlenmiş?, Boyanmamış başka kare var mı?”, Şekli düzgün ve dışına taşırmadan boyama işlemini tamamlayabildin mi? gibi sorular sorularak biraz sohbet edilmiştir. Öğrencilerin dikkat, konsantrasyon, sayı ve süre ile ilgili ölçümleri gözlemlenip, değerlendirilmiştir. Çalışmada her biri farklı geometriksel desenli mandala figürleri mevcut olup, tekrarlı bir yol izlenmiştir ve totalde beş oturum olarak yapılmıştır. Uygulamalarda çocuklarla teker ilgilenilmiştir. Ortalama süre (boyama, bulma, sayma gibi faktörler için) her bir çalışmada 10 dk. olarak belirlenmiştir.

Mandalanın yararları hakkında aşağıdaki maddeler söylenebilir (Yıldırım, S., Akman, B. & Alabay, E. 2012).

- Çocukların stresini azaltır. Ruhsal rahatlık, kendini motive etme ve dinginlik sağlar.
- Seçim yapmayı kolaylaştırır.
- Grup içi ve gruplar arası adaptasyonu artırır.
- Hoşgörü ve sabrı öğretir.
- Odaklanma süresi ve sürdürülebilir yeteneğini geliştirir.
- Beyin sağ lob gelişiminin artmasına yardımcı olur. (Renkli çizimler sağ lobu aktifleştirerek duyguların anlam kazanmasında etkilidir)
- El ve gözün birlikte çalışmasını ve ince motor gelişimini destekler.
- Yaratıcılık artar.

2.1 Araştırmaya Katılan Öğrenciler

Araştırmanın evrenini Balıkesir ili Altıeylül ilçesinde yer alan özel eğitim ve rehabilitasyon kurumundaki öğrenciler ve öğretmenler oluşturmaktadır.

Araştırmanın örneklem grubu ise Balıkesir ili Altıeylül ilçesinde yer alan Özel Eğitim ve Rehabilitasyon Merkezi’ndeki otizmli çocuklara eğitim veren ve yansız olarak seçilen 5 öğretmenden oluşmaktadır.

Araştırmaya şu öğrenciler alınmıştır:

- 1- Tek eylem gerektiren yönergeleri yerine getirir.
- 2- Görsel uyaran içeren televizyon, projeksiyon gösterisi, video görüntüleme vb. araçları izler.
- 3- Gösterilen hareketleri taklit eder.
- 4- Nesnelere 1’den 10’a kadar sayar. (Gülsöz, T., Çıkkılı, Y. , 2018)

2.2. Öğretim Programlarının Hazırlanması

Uygulama öncesinde araştırmaya katılacak öğrenci seçimi, programların hazırlanması, materyal temini ve ortam düzenlemeleri yapılmıştır. Ayrıca araştırmaya katılacak öğrencilerin başlama düzeyleri belirlenmiştir. Araştırmaya katılacak öğrenciler otizm tanısı ve yaygın gelişimsel bozukluk gösteren bir ilkökul-ortaokul-lise bünyesinde eğitimine devam etmesi gerekirken eğitimi özel rehabilitasyon merkezinde devam eden öğrencilerden seçilmiştir.

2.3. Veri Toplama Aracı

İyileştirilmesi hedeflenen amaçlar doğrultusunda verilerin toplanmasında 10 değişik karakteristik otistik davranış gösteren öğrencilerin Mandala çizim kağıtlarını boyama ve desenleri tanıyıp tanıyamadıkları gopro hero+3 action kamera yardımı ile kayıt altına alınmış olup ayrıca 18 sorudan oluşan anket yapıp değerlendirilmeleri sonuçlandırılmıştır.

2.4. Verilerin Analizi

Statistical Package for Social Sciences SPSS programı ile analizleri yapılmıştır. Deneklerin test sonuçları KMO ve Bartlett Testi güvenilirlik testi Cronbach Alpha katsayısı kullanılarak değerlendirilmiştir

Geçerlik analizleri; madde analizi, bir ölçme aracının tamamında - alt boyutlara ait bölümlerde yeralan itemlerin tamamında veya boyutlara ait bölümlerde istatistiksel anlamlılığı değerlendirmeyi amaçlar (Otrar, 2012; Gülten, 2012; Özkan, 2015; Argın, 2015). Faktör analizi yorumu zor olan birçok birbiriyle bağlantılı değişkeni, faktör adı altında görece olarak bağımsız yapılar altında birleştiren çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir (Büyüköztürk, 2002; Köymen, 1994; Tekin, 1993; Tezbaşaran, 1996; Turgut, 1997; Yıldırım, 1999). Bu analiz aynı şekilde yapı geçerliliği analizi olarak da bilinmektedir (Köymen, 1994). Çalışmada faktör yapısını belirlemek için temel bileşenler (TBA) analizi uygulanmıştır

(Principal Component Analysis – PCA). Tespit edilen bileşenlerin yorumlanmasını kolaylaştırmak amacıyla genellikle en çok tercih edilen ortogonal döndürme yöntemi olan Varimax kullanılmıştır (Otrar, 2012; Çağırğan Gülten, 2012; Özkan, 2012; Arğın, 2015). Fakat bundan önce veri setinin temel bileşenler analizine uygunluğunu belirlemek amacıyla Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Barlett Küresellik Testi uygulanmıştır. KMO değeri 0' la 1 arasında değer alan bir testtir, 1'e yakın olması veri setinin faktör analizine uygunluğunun artmasını gösterir. Aşağıdaki Tablo 1'de KMO değerleri ve açıklaması yer almaktadır (Semerci, 2004).

Tablo 1: KMO Derecelendirme Tablosu

KMO Değeri	Açıklama
$1,00 \leq KMO \leq 0,90$	Mükemmel
$0,90 < KMO \leq 0,80$	İyi
$0,80 < KMO \leq 0,70$	Orta Düzey
$0,70 < KMO \leq 0,60$	Zayıf
$0,60 < KMO$	Kötü

Güvenilirlik Analizleri; Güvenilirlik bir ölçeğin ölçtüğü kavramı veya yapıyı ne kadar doğru ölçmesi ile ilişkilidir (Tekin, 1993). Likert tipi ölçeklerde güvenilirliği ölçmek için genellikle Cronbach Alpha kullanılır. Alfa değeri uygulanan ölçeğin iç tutarlılığını gösterir (Tekin, 1993; Tezbaşaran, 1996; Turgut, 1997; Yıldırım, 1999). Güvenirliliği ölçmek için iki hafta arayla test - retest yöntemi uygulanmıştır. Tüm analizler SPSS 22.0 (Statistical Package for the Social Sciences) programı yardımıyla yapılmıştır (Otrar, 2012; Gülten, 2012; Özkan, 2015; Arğın, 2015).

2.4. Öğretim Programının Uygulanması

Uygulama öncesinde araştırmaya katılacak öğrenci seçimi, programların hazırlanması, materyal temini ve ortam düzenlemeleri sınıfta ve masada yapılmıştır. Ayrıca araştırmaya katılacak öğrencilerin başlama düzeyleri belirlenmiştir. Araştırmaya katılacak öğrenciler otizm ve yaygın gelişimsel bozukluk tanısı almış olan, bir ilkokul-ortaokul-lise eğitimine devam etmesi gerekip, edemeyen ve özel eğitim alan öğrencilerden seçilmiştir. Kullanılacak yöntem ve hedeflenen beceriler doğrultusunda öğretim oturumlarını gerçekleştirmek için araştırmacı tarafından öğretim planları, bir yetişkinin sadece beceriyi gerçekleştirme aşısının odaklandığı video kayıtları ve öğretim esnasında çizimde ve boyama aşamasında kullanılan diğer (Mandala resimleri, tak-çıkarcı oyuncakları, geometrik figürleri yerleştirme ekipmanları vb.) malzemeler temin edilmiştir.

Uygulama sürecinde Öğretim oturumları hazırlanan öğretim programları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Geometrik cisimleri tanıyabilme becerisi; kalem kullanımı, grafiksel şekli seçebilme, algılayabilme, düzenli boyayabilme şeklinde alt basamaklar oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Özel Eğitim Uygulama Merkezi'nin uygulamalar için hazırlanan sınıfına öğrenci ile birlikte geçilmiştir. Öğretim için hazırlanan boyanacak kartlar ile öğrencinin dikkati çekilerek, resimler üzerine konuşuldu. Üçgen resmi gösterilerek "Üçgen çizmek ister misin?" sorusuna öğrenciden alınan cevabın ardından "Şimdi seninle üçgen yapmayı öğreneceğiz." diyerek uygulamaya geçiş yapıldı. Öğrencilerin herbirine telefondan bir eğitim videosu açılıp izletme işi yaptırıldı. Daha sonra izleme başarılı şekilde sonuçlandıysa eğer öğrenci ödüllendirildi. Bu işlemin ardından öğrenciden video da izlediklerini yapması istenmiştir. Bunun içinde 1'den 5'e kadar başarısını belirten bir puanlama sistemi kullanılmıştır.

2.5. İzleme

İzleme oturumları, katılımcının öğrendiği davranışları öğretim sonrası değerlendirme oturumlarından haftalarda gerçekleştirip gerçekleştirmediğini görmek amacıyla yapılmıştır. İzleme oturumları başlama düzeyi oturumları gibi gerçekleştirilmiştir. Öğrencilere sınıf ortamında video kayıt izlettirmeden sadece sözel olarak beceri yönergesi ile söylenen işlemleri yapması istenmiştir.

2.6. Uygulama Güvenirliği

Uygulama güvenilirliği verilerinin toplanmasında kullanılmak üzere Becerilerinin Video Modelle Öğretim Etkinlikleri Uygulama Güvenirliği Formu hazırlanmıştır. Uygulama güvenirliliğinin belirlenmesi amacıyla uygulamanın yapıldığı eğitim merkezinde görev yapan bir özel eğitim öğretmeninden katılımcı gözlemci yardımı alınmıştır. Katılımcı gözlemciye bu formun kullanımı ve yürütülen program hususunda bilgi verilmiştir. Katılımcı gözlemci uygulama süresince araştırmacının yapması gereken ve yapması gerekip de yapmadığı davranışları forma kayıt etmiştir.

3. Bulgular

Ölçeğin yapı geçerliliğini belirlemek amacıyla veriler üzerinde ilk olarak Kaiser-Meyer-Oklin (KMO) ve Bartlett test analizleri yapılmış ve KMO=0.897; Bartlett testi değeri ise $\chi^2=930,805$; ($p=0.000$) olarak belirlenmiştir. Davranış bilimlerinde KMO değerinin 0.60'dan yüksek olması faktör analizi yapılabilmesi için yeterli görüldüğünden dolayı (Büyüköztük, 2002; Tavşancıl, 2010), 15 maddelik ölçek üzerinde faktör analizi yapılabileceği anlaşılmıştır. Ölçeğin boyutlarını belirlemek üzere temel bileşenler analizi yapılmıştır. Ölçeğin birbirinden bağımsız faktörlere ayrışıp ayrışmadığını belirlemek amacıyla ise Varimax dik döndürme tekniği uygulanmıştır. Faktör analizlerinde yük değeri, bir maddenin tanımlanacak olan bir alt boyutta (faktörde) yer alıp almadığını ve böylece söz konusu faktörle olan ilişkisini gösterir. Belli bir grup madde bir faktörün altında yüksek yük değeri ile bulunuyorsa, bu maddeler ilgili faktörü tanımlayan/ölçen maddeler olarak yorumlanırlar. Genellikle bir maddenin yük değerinin 0.45 ve daha yüksek olması beklenir. Bu çalışmada yük değerleri 0.50'nin üzerinde olanlar alınmıştır. Bu alanda Temel Bileşenler Analizi yöntemine pek çok kaynakta rastlanmaktadır (Klainbaum, Kupper ve Muller, 1987; Zeller ve Karmines, 1978). Ölçeğin amacı süre ve sayıları ölçmek olduğu için program iki faktöre zorlanarak analiz tekrarlanmış ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Bu teknikle yapılan açıklayıcı faktör analizinde, özdeğeri 1'in üstünde olan iki faktör toplam varyansın %70.36'sını açıklamaktadır. Ölçme aracının faktör yapısı Tablo 6'da verilmiştir. Sonra Varimax Yöntemi kullanılmış ve faktör dağılımı daha açık hale getirilmiştir. Bazı maddelerin birden çok faktöre yayıldığı ($< 0,30$) görülmüştür. Bu binişik olan 3 madde sırasıyla ölçekten çıkartılarak (Buyukozturk, 2012) analiz tekrar edilmiş ve kalan 15 Madde üzerinden analizler yapılmıştır. Bu aşamada açıklanana toplam varyans 2 bileşende % 70.366 dır.

Faktörlerin açıkladıkları varyans miktarları ise sırasıyla birinci faktör için %24.471, ikinci faktör için %13.355, olarak belirlenmiştir. Faktör analizi sonunda elde edilen varyans oranları ne kadar yüksek olursa, ölçeğin faktör yapısı da o kadar güçlü olmaktadır. Sosyal bilimlerde çok yüksek varyans oranlarına ulaşmak mümkün olmamakta, %40 ile %60 arasında değişen varyans oranları yeterli kabul edilmektedir (Tavşancıl, 2010). Maddelerin faktörlere dağılımını belirlemek için yapılan Varimax dik döndürme analizi sonuçları ise aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Tablo da görüldüğü üzere birinci faktör 8 maddeden (11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19. maddeler); ikinci faktör 7 maddeden (1, 3, 4, 5, 6, 7, 12. maddeler) oluşmaktadır. Her bir faktör içine giren maddeler incelenerek oluşan alt boyutlar isimlendirilmiştir. Bu bağlamda birinci alt boyut sayı alt boyutu olarak; ikinci alt boyut süre alt boyutu olarak; isimlendirilmesi uygun görülmüştür.

Ölçeğin güvenilirliğini ölçmek için Cronbach α kullanılmış ve tüm ölçeğin iç tutarlık katsayısı Cronbach $\alpha=0.933$ olarak hesaplanmıştır. Cronbach's Alpha değerlerine bakıldığında hepsinin 0,90'nın üzerinde olması veri setinin güvenilirliğini onaylamaktadır. Maddelere İlişkin Yığılma Grafiği Şekil 3'te verilmiştir.

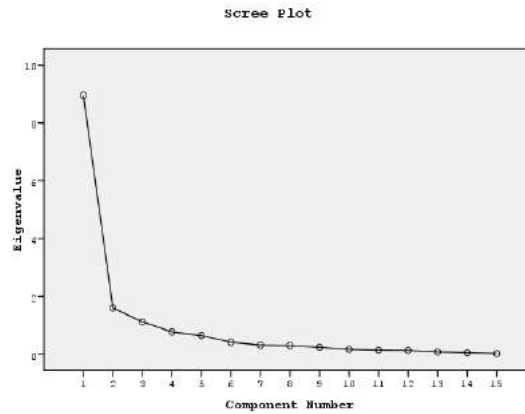
Tablo 2: Ölçeğin Faktör Yapısı

	Boyutlar	
	Sayı	Süre
1. Söylenen Geometrik Şekillerden Bulunan Geometrik Şekil Sayısı	,906	
2. Verilen Geometrik Şekillerden Söylenen Geometrik Şekil Sayısı	,889	
3.Karmaşık Geometrik Şekiller Arasından Bulunan Geometrik Şekil Sayısı	,786	
4.Verilen Geometrik Şekillerden Gösterilen Şeklin Hangi Renk Olduğunu Söyleme	,760	
5.Gizli Nesne Resimleri Arasından Bulunan Gizli Nesne Resmi Sayısı	,716	
6.Verilen Geometrik Şekillerden Başarılı Örüntü Oluşturma Sayısı	,672	
7.El Göz Koordinasyonu Gerektiren Görevi Tamamlama Sayısı	,591	
8.Verilen Geometrik Şekillerle Tak Çıkar Yapma Sayısı	,542	
1.Aktiviteye Katılım		,825

Süresi		
2.Uzman Gözetimsiz Oturarak Bekleme Süresi		,796
3.Görev Tamamlama Sayısı		,791
4.Uzman Gözetiminde Oturarak Bekleme Süresi		,762
5.Dikkat Süresi		,727
6.Konsantrasyon Süresi		,687
7.Göz Kontağı Süresi		,664
Özdeger	8,95	1,60
% Varyans	59,70	10,67
Cronbach Alpha (a) .94	.92	.91

Çalışmada ortalamalar arasındaki farklara bakarak analizler yapabilmemiz için faktörler ile değişkenlerin dağılımları ve verilerin homojenliği test edilmiştir. Dağılımın normal bir dağılım olma durumu için explore kullanılmıştır.

Varyansların homojenliği kontrol edildiğinde $p>0,05$ olduğu görülmüştür. Buda dağılımın homojen bir dağılım olduğunu bize göstermiştir.



Şekil 3: Data Setindeki Maddelere İlişkin Yığılma Grafiği

Ölçeğimizi oluşturan 15 adet sorunun grafiği yukarıdaki gibi verilmiştir. 1'den itibaren 15' e giderken kuvvetin azaldığı görülmektedir.

Bir faktör analizinde tüm faktörler kullanılmaz Eigen değerleri büyük olan faktörler kullanılmalıdır. Şekil 3'de görüldüğü gibi az sayıda faktörün eigen değeri yüksek olur. Buda faktör seçiminde kullanılan yöntemlerdendir.

3.1. Cinsiyet İle Boyutların Analizi

Çalışmaya katılan katılımcıların performans sayı ve süreleri ile, cinsiyetleri, eğitim durumları, ve yaşları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t testi ile karşılaştırılmıştır. İlk olarak, kız ve erkeklerin ölçekten aldıkları puanlar arasındaki farkları belirlemek amacıyla bağımsız örneklemli t testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 3'de gösterilmiştir

Sonuçlar, ölçeğin "süre ve sayı" boyutunda kız ve erkek öğrenciler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığını göstermiştir ($t_{48} = -1,30$; $p > 0,05$ ve $t_{48} = -1,54$; $p > 0,05$). Bu sonuç, otizimli öğrencilerin cinsiyetleri ile süre ve sayı performans düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir.

Tablo 3. Kız ve erkek öğrencilerin ölçekten aldıkları puanların karşılaştırılması

	Kız			Erkek			t	p
	N	x	SS	N	x	SS		
Sayı	14	2,87	0,95	36	2,45	1,18	-1,30	0,210
Süre	14	3,28	0,82	36	2,86	0,98	-1,54	0,142

3.2. Yaş İle Boyutların Analizi

Katılımcıların yaşları ile ölçeğin boyutları arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacı ile bağımsız örneklem t testi kullanılmıştır. Katılımcıların yaşları 18 yaş altı ve 18 yaş üstü olarak ikiye ayrılmıştır. Bağımsız örneklemlili t testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 18 yaş altı ve 18 yaş üstü öğrencilerin ölçekten aldıkları puanların karşılaştırılması

	18 Yaş Altı			18 Yaş Üstü			t	p
	N	x	SS	N	x	SS		
Sayı	38	2,52	1,18	12	2,73	0,95	-0,64	0,531
Süre	38	2,85	0,99	12	3,38	0,69	-2,11	0,045

Bu sonuçlar, ölçeğin sayı boyutunda öğrencilerin 18 yaşından büyük yada küçük olması ile arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığını göstermiştir ($t_{48} = -0,64$; $p > 0,05$).

Bu sonucun yanında yaşın 18 yaş üstü olmasının süre olarak anlamlı farkın olduğunu göstermiştir ($t_{48} = -2,11$; $p < 0,05$).

Bu sonuç ile otizimli öğrencilerin 18 yaştan büyük olanların süre performans düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. Bu farkta yaşı büyük olanlar küçük olanlara göre süreyi kullanmada daha başarılı oldukları görülmüştür.

3.3. Eğitim İle Boyutların Analizi

Otizimli katılımcı öğrencilerin eğitim durumları ile boyutlar arasındaki ilişki test edildiğinde 0-4 yıl ile 5-9 yıl eğitim almışlar ile "sayı ve süre" arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı görülmüştür ($t_{48} = -1,44$; $p > 0,05$ ve $t_{48} = -1,13$; $p > 0,05$).

Sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Bu sonuç, otizimli öğrencilerin cinsiyetleri ile süre ve sayı performans düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır.

Sonuç olarak öğrencilerin okulda almış oldukları eğitimin süresi ile boyutlar olan sayı ve süre arasında bir ilişki yoktur.

Tablo 5. 0-4 yıl ve 5-9 yıl eğitim alan öğrencilerin ölçekten aldıkları puanların karşılaştırılması

	0-4 Yıl			5-9 Yıl			t	p
	N	x	SS	N	x	SS		
Sayı	31	2,39	1,12	19	2,86	1,09	-1,44	0,160
Süre	31	2,86	0,95	19	3,17	0,93	-1,13	0,272

4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada öğrencilerin geometrik şekillere ilişkin bilgilerini ölçmek amacıyla 10 uzmanın görüşü alınarak bir anket düzenlenmiştir. 18 sorudan oluşan bir bilgi ölçme anketi hazırlanmıştır. Bunların dışında tüm ölçeğin ve alt boyutlarının güvenilirlik katsayıları (Cronbach α), faktor bazında ayırt edicilik işlemleri, güvenilirlik analizleri katsayısı hesaplamaları yapılmıştır.

Bu analizlere bağılı olarak varılan sonuclar aşağıda verilmiştir:

- Yapılan anketteki eigen değeri ölçütüne göre önemli iki faktorun acıkladığı toplam varyans %70.00'dir. Varimax rotasyon sonucunda maddelerin faktör yükleri 0.536 - 0.906 arasında değişmektedir. Belirlenen faktörler sırasıyla "sayı" ve "süre" olarak adlandırılmıştır.
- Ölçeğin tumu için cronbach α T=0.945 ve her bir alt boyut için hesaplanan cronbach α katsayılarının 0.70'in üzerinde olması ölçeğin bütün olarak ve alt boyutlarının kendi içinde tutarlı olduklarına işaret etmektedir.
- Faktor bazında analizlerde ayırt edicilik istatistiksel olarak tüm gruplar kapsamında anlamlı bulunmuştur ($p < .001$).
- Faktörler olarak aldığımız "sayı ve süre" ile yaş, eğitim ve cinsiyet ilişkileri belirlemek için yapılan analizlerin sonucunda 18 yaş üstü otizmliler otizmlilerin sürelerini kullanmada daha etkili oldukları tespit edilmiştir.

Diğerlerinde anlamlı bir ilişki bulunmamıştır.

Yapılan tüm bu geçerlik ve güvenilirlik işlemlerinin ardından otizmliler öğrencilerin geometrik şekillere ilişkin bilgilerini ölçmede geçerli ve güvenilir biçimde kullanılabilir bir ölçme aracı olduğunu ortaya koymuş olup oluşturulabilecek hipotezlerin doğru bir şekilde test edileceği görülmüştür.

- 1-) Uygulanacak fiziksel aktivite ve spor egzersizleri, otizmliler çocukların fiziksel ve zihinsel gelişimlerine etkileri araştırılabilir.
- 2-) Otizmliler çocuklar üzerine yapılan bilimsel çalışmalar arttırılmalıdır.
- 3-) Otizm ve video model üzerine yapılan bilimsel araştırmalarda daha çok denek sayısı kullanılarak incelemeler yapılabilir.
- 4-) Bilgisayarlı öğretim dersleri arttırılarak geometrik figürlerin tanıtılması sağlanabilir.

Kaynaklar

- Üstüner Top, Güleç-Aslan ve ark.(2009) Otistik Çocuğa Sahip Ailelerin Yaşadıkları Sorunlar ile Ruhsal Durumlarının Değerlendirilmesi: Niteliksel Araştırma Fadime * Çocuk Dergisi 9 (1):34-42
- Güleç-Aslan Y, Kırcaali-İftar G, Uzuner Y. (2009) Otistik Çocuklar İçin Davranışsal Eğitim Programı (OÇİDEP) Ev Uygulamasının Bir Çocukla İncelenmesi, Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi. 10 (1) 1-25
- Yıldırım, S., Akman, B.& Alabay, E. (2012). Okul öncesi dönem çocuklarına sunulan Montessori ve mandala eğitiminin görsel algılama davranışlarına etkisinin incelenmesi. *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, 32, 92- 103.
- Güven, D., Vuran, S. (2015). Otizm spektrum bozukluğu olan bireylerin sosyal becerilerinin geliştirilmesinde grup müdahaleleri. Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi, 16(1), 29-51.
- Güneş, F. Otizm ve Otistik Çocukların Eğitimi, İlya Yayınları (2013).
- Gürsel, O. (1993). Zihinsel engelli çocukların doğal sayıları, gerçek nesnelere kullanarak eşleme, resimleri işaret ederek gösterme, rakamlar gösterildiğinde söyleme becerilerinin gerçekteştirilmesinde bireyselleştirilmiş öğretim materyalinin basamaklandırılmış yöntemle sunulmasının etkililiği. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları
- Gülsöz, T., Çıkılı, Y. (2018). Otizm spektrum bozukluğu olan öğrencilere soğuk içecek hazırlama ve sunma becerisinin video model ile öğretim etkililiği. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18 (1), 210-229.
- Girli, A. (2004). Rep-R ölçeği ile değerlendirilen ve TEACCH programı uygulanarak eğitilen iki otistik çocuğun gelişimlerinin incelenmesi. Gelişimsel Nöropsikiyatri Toplantıları: Uluslararası II. İstanbul Otizm Sempozyumu.
- Berkmen, H.2009, Kuantum Bilgiği ve Tasavvuf, Sistem Yayıncılık, No:622, 2.Baskı, İstanbul.
- Büyüköztürk. ř. (2002). Faktör analizi: Temel kavramlar ve ölçek geliştirmede kullanımı. Eğitim Yönetimi Dergisi, 32, 470-483.

- Özyürek, M. (1990). Özel eğitimde teşhis sorunları ve öneriler. Eğitim Bilimleri Birinci Ulusal Kongresi. Ankara: Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Yayınları.
- Köymen, Ü. (1994). Öğrenme ve Ders Çalışma Stratejileri Envanteri: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. Psikolojik Danışma ve Rehberlik Dergisi, 2(1), 19-28.
- Tekin, H. (1993). Eğitimde Ölçme ve Değerlendirme. Ankara: Yargı.
- Tezbaşaran, A.A. (1996). Likert tipi ölçek geliştirme kılavuzu. Ankara: TPD Yayınları.
- Turgut, M.F. (1997). Eğitimde Ölçme ve Değerlendirme Metotları. Ankara: Gül Yayınevi.
- Yıldırım, C. (1999). Eğitimde Ölçme ve Değerlendirme. Ankara: ÖSYM yayınları.
- Tavşancıl, E. (2010). Tutumların Ölçülmesi ve SPSS ile Veri Analizi. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Semerci, Ç. (2004). İlköğretim Türkçe ve Matematik Ders Kitaplarını Genel Değerlendirme Ölçeği, C.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi Mayıs 2004 Cilt : 28 No:1 49-54
- Otrar, M., Arın, F.S (2015). Öğrencilerin Sosyal Medyaya İlişkin Tutumlarını Belirlemeye Yönelik Bir Ölçek Geliştirme Çalışması, Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi, Cilt:4, Sayı:1 Makale No:37.
- Otrar, M., Çağırğan Gülten, D., Özkan, E. (2012). İlköğretim Öğrencilerine Yönelik Öğrenme Stilleri Ölçeği Geliştirilmesi, Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi, Cilt:1, Sayı:2



Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıktılarının Tahmini ve Sezgisel Algoritmalar ile Karşılaştırılması

Emre Dandıl^{1*}, Erol Gürge²

¹ Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik (ORCID: 0000-0001-6559-1399)

² Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, FBE, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilecik (ORCID: 0000-0003-3403-9002)

(İlk Geliş Tarihi 14 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 8 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.540262)

ATIF/REFERENCE: Dandıl, E., & Gürge, E. (2019). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıktılarının Tahmini ve Sezgisel Algoritmalar ile Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 146-158.

Öz

Fotovoltaik(FV) paneller, güneş ışığından elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan sistemlerdir. Farklı zamanlarda FV sistemlerden üretilen güç değerlerinin tahmini güneş panellerinin güvenilir bir enerji kaynağı olarak efektif kullanılması ve ekonomik kullanılması açısından gereklidir. Güneş panellerinden üretilen çıkış gücünün kestirimi aynı zamanda, güneş panellerinin kurulumu, elektrik şirketlerine rehberlik etmesi, enerjinin yönetimi ve dağıtılması ve bunun yanında en kısa sürede optimum enerjiyi elde edebilir hale gelmek ve maksimum üretim kapasitesi ulaşmaya yönelik gerekli panel adaptasyonlarının tespit edilmesi için gerekli zamandan kazanç; ek işçilik maliyetlerinin azaltılması anlamında büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, FV panellerinden elde edilen güç değerlerinin aylık olarak tahmini için farklı algoritmalar ile öğrenen Yapay Sinir Ağları(YSA) kullanılmıştır. Altı farklı açısız konuma yerleştirilen panellerden elde edilen güç değerlerinin tahmin edilmesinde, geleneksel yöntemlere göre daha iyi sonuç veren Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO) optimizasyon algoritmasına dayalı YSA ile Geriye Yayılım(GY) ve bir diğer optimizasyon algoritması olan Klonal Seçim Algoritması(KSA) ile eğitilen YSA modellerinden yararlanılmıştır. Tahmin sonuçlarının doğrulanmasında üç popüler istatistiksel değerlendirme kriteri olan Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE), Ortalama Kare Hataların Karekökü (RMSE) ve Varyans (R^2) eşitliklerinden yararlanılmıştır. Her üç kriterlerden elde edilen doğrulama sonuçları incelendiğinde, hemen hemen tüm aylar için PSO algoritması ile eğitilen YSA yapısının, KSA ve GY algoritmaları ile eğitilen YSA yapılarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bazı sonuçlarda ise GY ile eğitilen YSA yapısının, PSO ile eğitilen YSA yapısına göre, sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Panel, Güç Tahmini, YSA, Geriye Yayılım, PSO, Klonal Seçim Algoritması

Prediction of Photovoltaic Panel Power Outputs using Artificial Neural Networks and Comparison with Heuristic Algorithms

Abstract

The prediction of power outputs generated from photovoltaic (PV) systems at different times is necessary for reliable and economical for use of solar panels. The prediction of the power output is also very important in terms of factors such as installation of solar panels, guidance of electricity companies, energy management and distribution. Determination of optimum solar panel positions and angles, providing energy productivity to maximize production capacity in a short time period is the most time consuming job for regulations for a companies. Also, adaptation of panels increases costs. Therefore, new and healthy prediction methods have a great importance to minimize these work force costs. In this study, Artificial Neural Network (ANN) model learned by heuristic algorithms

* Sorumlu Yazar: Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6559-1399, emre.dandil@bilecik.edu.tr

are used for the prediction of power outputs obtained from PV panels monthly. Particle Swarm Optimization (PSO), Back-Propagation (BP), Clonal Selection Algorithm (CSA) are used to train ANN to predict six different PV panel located in different angles from 10 to 60 degrees. Three different popular evaluation methods which are called mean absolute percentage error (MAPE), root mean square error (RMSE), varyans (R^2) used to do comparison. According to examination of verification results, PSO is almost most successful algorithm as a training method when it is compared with BP and CSA. It is seen for the some of the results belong to a few months that BP is slightly better than PSO.

Keywords: Photovoltaic Panel, Power Prediction, ANN, Back-propagation; PSO, Clonal Selection Algorithm

1. Giriş

Dünyada ve onun küçük bir yansıması olarak Türkiye’de; gelişen teknoloji beraberinde aynı oranda artan bir enerji ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu ihtiyacın giderilmesi için kullanılan kaynaklar incelendiğinde, bölgesel olarak farklılıklar olsa da fosil yakıt türlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Türkiye’ye ait yıllık istatistikler incelendiğinde enerji ihtiyacının %66.7’si fosil yakıtlardan, %25.3’ü hidrolikten, %8.1’i ise jeo-termal, rüzgar, güneş enerjisi ve diğer kaynaklardan elde edilmektedir[1,2]. Gelişen ihtiyaçlara cevap verebilmek adına devletler mevcut politikalarını gözden geçirerek, gerek tükenme olasılığı, gerekse çevreye etkileri düşünülerek fosil yakıtlara alternatif olan enerji kaynaklarını ve üretim yöntemlerini araştırmaya başlamışlardır.

Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan yöntemlerden birisi de FV paneller yardımıyla güneş enerjisinden yararlanmaktır. Özellikle güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre temiz, sessiz, ekonomik, güvenilir ve tükenmez olması nedeniyle son zamanlarda daha da önemli hale gelmiştir [3]. FV panellerden üretilen enerji, coğrafi konum, mevsimsel değişimler ve çevresel koşullar gibi faktörlere göre değişiklikler gösterebilmektedir. Buna bağlı olarak FV panellerin eğim açısının aylık, mevsimsel ve yıllık olarak değiştirilmesi ile panellerden en yüksek gücün elde edilmesi sağlanabilmektedir. Güncel ve modern güç sistemlerinin güvenli ve ekonomik olarak işletilmesi için üretim planlamaları gerçek zamanlı, günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak yapılabilmektedir. Bundan dolayı, FV panel istasyonları gibi yenilenebilir güç tesislerinin güç çıkış değerlerinin ve yük eğilimlerinin kestirilmesi temel bir süreç olarak ortaya çıkmaktadır.

Solar güç istasyonlarının verimliliğinin(çıkış gücü), farklı hava koşullarına göre değişimler gösterdiği bilinen bir gerçektir. Bu nedenden dolayı, son zamanlarda FV panellerin güç çıkış değerlerinin tahmin edilmesine yönelik çalışmaların önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Günümüzde FV panellerin güç tahmini için yaygın olarak kullanılan iki temel yaklaşım bulunmaktadır [4]. Bunlardan birincisi, solar ışınım, ortam sıcaklığı ve matematiksel modelleri kullanılarak elde edilen bazı parametreler gibi çevresel parametrelerin tahmini yardımıyla FV sistemlerindeki aktif gücün hesaplanmasıdır. Diğeri ise, FV sistemlerin aktif güç çıkışlarının doğrudan tahmin edilmesidir [5]. Solar ışınım verilerinin saatlik olarak tahmin edilmesi çok zor olduğundan dolayı, Kudo vd.[5]’ un çalışmasında aktif güç çıkışı, daha önce ölçülen akım ve gerilim verilerine bağlı olarak doğrudan tahmin edilmiştir.

Literatürde, şimdiye kadar FV panel güç çıkışlarının tahmini için birçok yöntem önerilmiştir. Lorenz vd. [4] ve Kudo vd. [5] hava durumu verileri kullanarak FV panel güç çıkış karakteristiklerini ortaya koyan, çoklu doğrusal regresyon yöntemleri ve YSA modelleri kullanılarak elde edilen solar ışınım tahminlerini karşılaştırmalı birer çalışma ile sunmuşlardır. Junseok vd. [6] ve Li vd. [7], Markov zincirleri kullanarak olasılıksal bir yaklaşım ile Fotovoltaik üretim merkezlerinde enerji depolama birimleri üzerine çalışma yapmışlardır. Ran vd. [8] ve Shi vd. [9] ise çalışmalarında, bir makine öğrenmesi yöntemi olan Destek Vektör Makineleri ile FV panel güç çıkışlarının tahmin edilmesine yönelik çalışmalar yürütmüşlerdir. Wang [10] çalışmasında, yukarıdaki çalışmaların dışında, FV güç çıkışlarının tahmin edilmesinde en uygun metodun YSA olduğu bazı çalışmalarda ortaya koymuştur. Kou vd. [11] çalışmalarında, GY kullanarak eğitilen YSA yapısı ile meteoroloji verilerinin de kullanılması sayesinde solar panel çıkış gücü tahmini yapmışlardır. Zhang vd. [12], PSO evrimsel algoritmasını hibrit bir yöntem haline getirerek yapay sinir ağını eğittikleri çalışmalarında, ışınım değerlerini de girdi olarak kullanmış ve solar radyasyon tahmin çıkarımları elde etmişlerdir. Qasrawi [13], farklı bölgelere yerleştirilen güneş panellerinden alınan panel çıktıları ve uydulardan alınan veriler ile birlikte çok katmanlı ve GY (Levenberg-Marquardt) ile eğitilmiş YSA tasarlamışlardır. Sisteme girdi olarak nem, solar ışınım, gün ışığı süresi uzunluğu, bulutsuz hava şartları verilmiştir. Test verileri ile ağıın başarımı doğrulanmıştır. Zhu vd. [14], dalgacık dönüşümü(wavelet transform) yöntemi ile verilere indirgeme uygulamışlardır. Bu verileri YSA’nın eğitiminde kullandıkları hibrit bir yöntem çalışmasının ardından tekrar dalgacık ayrıştırması Yöntemi ile veriyi yapılandırma işlemine tabi tutmuşlar ve mevcut YSA çalışmalarına oranla daha az matematiksel işlem gerektiren bir çalışma ortaya çıkarmışlardır. Prokop vd. [15], ANFIS ve çok katmanlı algılayıcı (MLP) yöntemler ile bir çalışma önermişlerdir. ANFIS ve MLP’nin benzer davranışlar sergileyerek ortalama %2’lik bir kesinlikte tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir. ANFIS’in MLP’ye nazaran daha kesin sonuçlar verdiklerini çalışmalarında belirtmişlerdir. Paulin ve Praynlin [16], güneş panellerinde ortalama ortam ısı, ortalama panel ısı, dönüştürücü ortalama ısı, solar ışınım, rüzgar hızı ve güç çıkışı verilerini girdi olarak kullanarak GY tabanlı YSA’yı eğittikleri karşılaştırmalı bir çalışma ortaya koymuşlardır. Rana vd. [17], farklı YSA yapılarından oluşan bir iteratif ve iteratif olmayan iki farklı yöntemin vermiş olduğu sonuçları karşılaştırarak iteratif olan yöntemin diğerlerine göre yakın sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Bu çalışmada ise geriye yayılım gibi klasik algoritmalarından farklı olarak sezgisel yöntemler kullanılarak eğitilen bir YSA modeli ile farklı eğim açlarına (100,200, 300, 400, 500, 600) yerleştirilmiş FV panel güç çıkışlarının, akım ve gerilim değerlerine bağlı bir şekilde aylık olarak tahmin edilmesine yönelik hibrit bir yöntem önerilmiştir. Önerilen bu çalışmada, geriye yayılım algoritması yardımıyla elde edilen güç değerleri ile sezgisel yöntemler olan PSO ve KSA sezgisel algoritmaları ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılması değerlendirilmesi de yapılmıştır. Ayrıca, yöntemin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkinliği ölçüm yapılan gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ortalama yüzdelik hatanın analizi ile doğrulanmıştır. Çalışmanın sonraki aşamaları şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde deneysel düzenek ve veriseti ile kullanılan algoritmalar çalışmanın materyal ve metod kısmı olarak

sunulmuştur. Üçüncü bölümde deneysel çalışmalar ve elde edilen bulgular detaylı olarak analiz edilmiş ve son bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

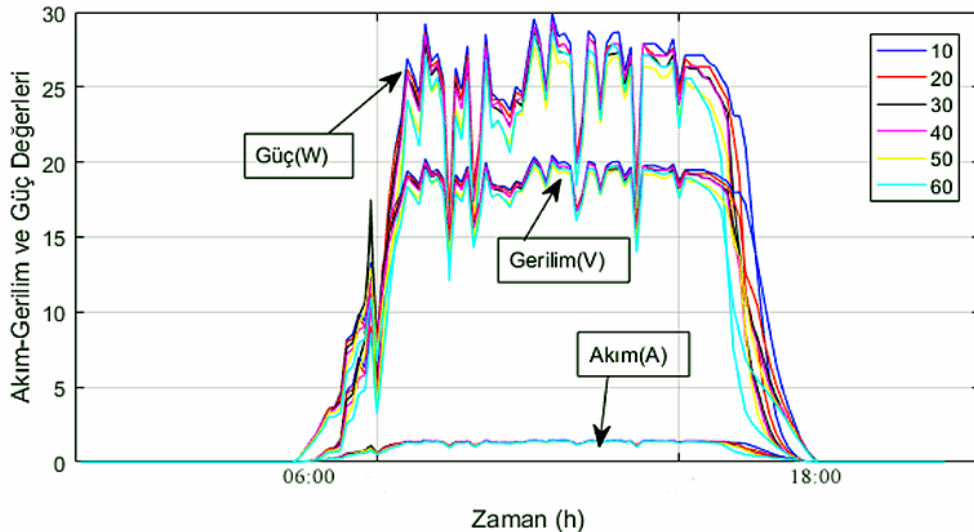
2.1. Deneysel Düzenek ve Veriseti

Bu çalışmada kullanılan veriler Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi yerleşkesi içerisine kurulan ve Şekil 1’ de görülen FV panel test düzeneğinden elde edilmiştir [3]. Düzeneğe yerleştirilen her bir FV panel Perligh marka ve PLM-100P/12 model olup polikristal yapıya sahiptir. Deney düzeneğinde 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° olmak üzere farklı eğim açılarına yerleştirilen FV panelin gerilim değerleri gün boyunca ölçülmüştür. Ölçülen analog veriler mikrodenetleyici ile sayısal verilere dönüştürülmüştür. Daha sonra Raspberry Pi kullanılarak sayısal verilerin her 10 dakikada bir ortalaması alınarak saklanması sağlanmıştır. Her bir FV panelden ölçülen gerilim, akım ve güç gibi elektriksel verilerin toplanması, kayıt altına alınması ve analiz çalışmaları Raspberry Pi üzerine kurulu bir web sunucusu sayesinde gerçekleştirilmiştir. Böylece sistemin günün her saatinde takip edilebilmesi olanağı da bulunmaktadır.



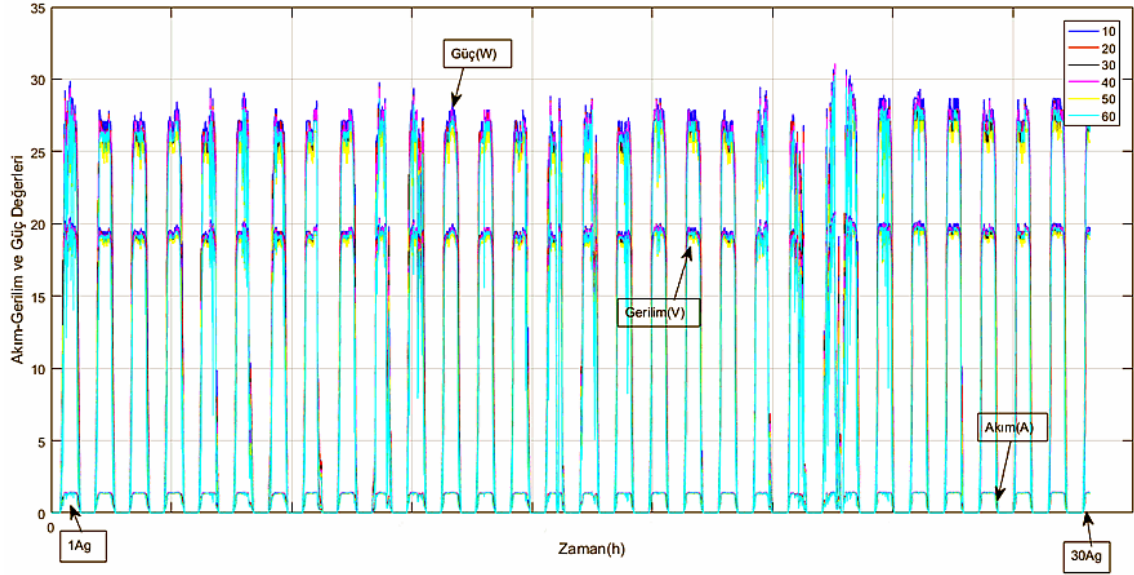
Şekil 1. FV panel deney düzeneği [3]

Yatay düzlemde 10° ile 60° arasında değişen farklı açılarda konumlandırılmış FV panellerden elde edilen akım, gerilim ve güç verileri Mayıs 2015-Mayıs 2016 tarihleri arasında bir yıl süre ile kaydedilmiş ve izlenmiştir. Şekil 2’ de farklı açılara yerleştirilen her bir panelden 1 Ağustos 2015 tarihinde bir gün boyunca ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Ağustosun yaz ayı olması nedeniyle akım, gerilim ve güç değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.



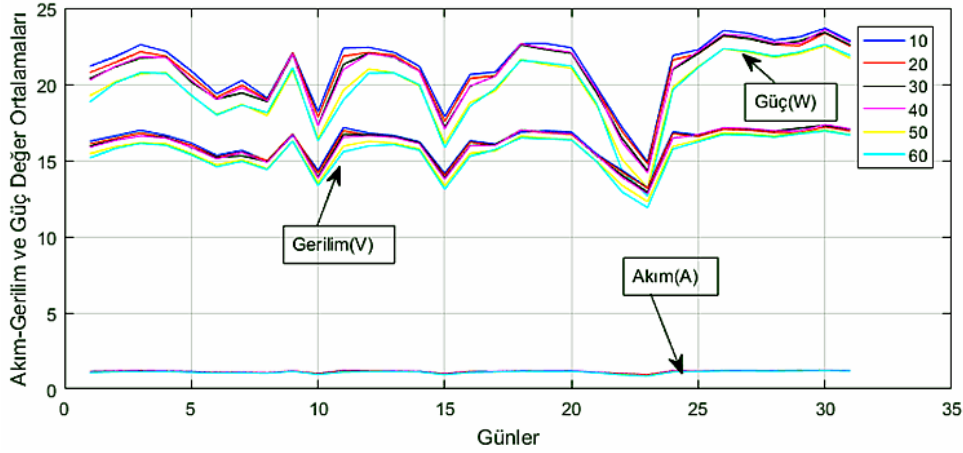
Şekil 2. Ağustos 2015 için her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri

Şekil 3’ ta Ağustos 2015 için, 6 farklı panelin her birisinden bir ay boyunca deney düzeneğinden elde edilen akım, gerilim ve güç değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere Ağustos ayı için panellerden elde edilen güç değerleri yüksek seviyede seyretmektedir.



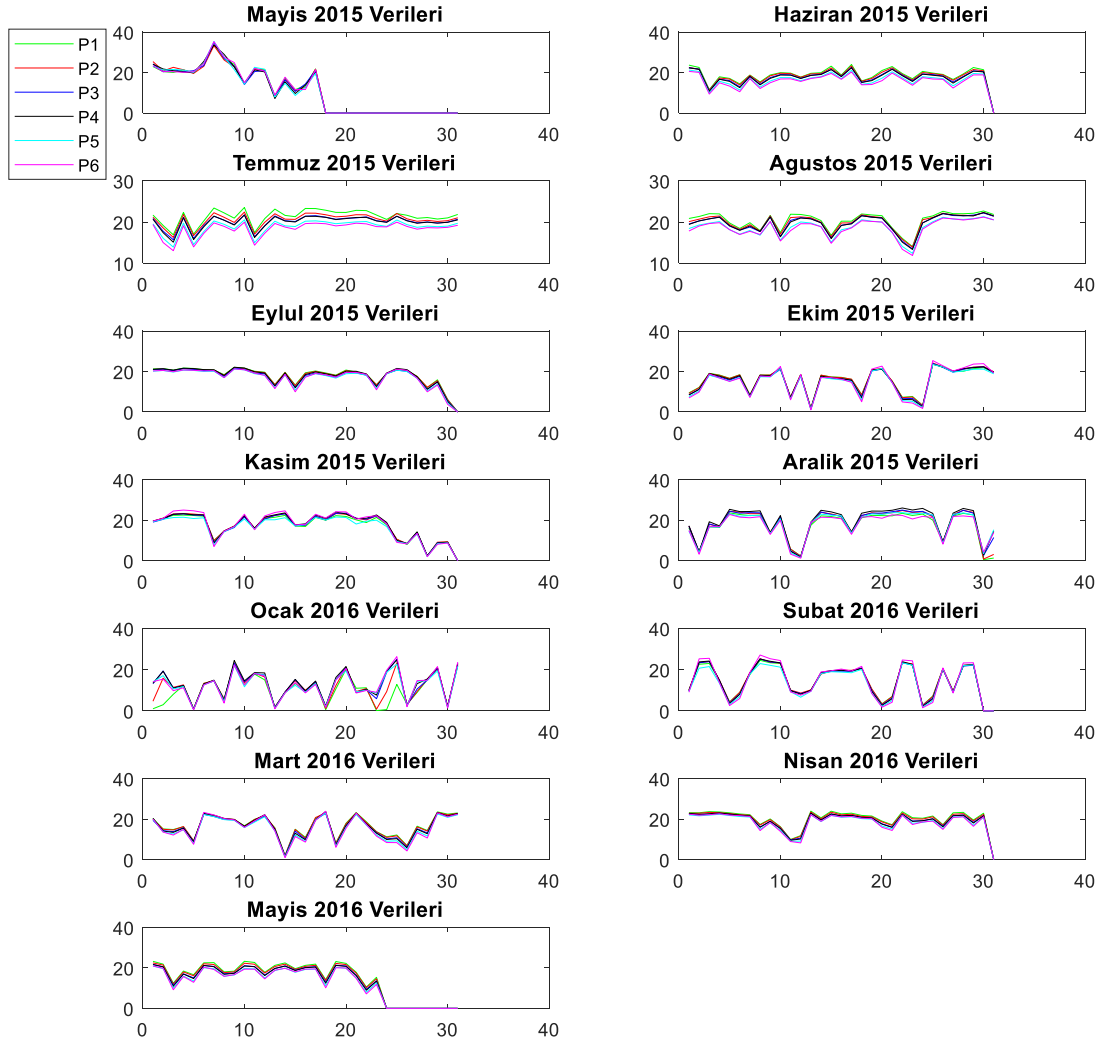
Şekil 3. Ağustos 2015 için yaklaşık bir ay boyunca her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri

Deneyel düzeneden alınan veriler, ağı eğitimi için kullanılmadan önce indirgeme işlemi yapılmıştır. Özellikle aydınlanma süreleri farklı olan yaz ve kış ayları için farklı olacak örnekleme sayıları, günün aynı saat dilimlerinde 06⁰⁰-18⁰⁰ arasına eşitlenmiş ve ağı eğitimi için günlük aynı örnekleme sayısı elde edilmiştir. Bu çalışmada aylık olarak FV panel güç çıkışlarının tahmini yapıldığı için, her ayın her günü için ilgili saat aralıklarında ölçülen akım ve gerilim değerlerinin günlük ortalama değerleri hesaplanarak aylık ölçümler elde edilmiştir. Şekil 4' te Ağustos 2015 için 06⁰⁰-18⁰⁰ arasında gün boyunca ortalamaları alınan akım, gerilim ve güç değerleri gösterilmektedir. Ağustosun yaz ayı olması, güneşli gün sayısının fazla olması ve güneş ışınlarının daha dik gelmesi ile üretilen akım, gerilim ve hesaplanan güç değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Ağustos 2015 için ortalama akım, gerilim ve güç değerleri

Tüm aylar için 06⁰⁰-18⁰⁰ arasında gün boyunca elde edilen ortalama güç verilerine ait örüntü grafikleri Şekil 5' te gösterilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde; güç eğrilerinin benzer eğilimler gösterdikleri, fakat açıl değerlere göre nicelik farklarının ortaya çıktığı görülmektedir. Aynı zamanda mevsimsel değişimlere bağlı güneşin konum ve hareketinde meydana gelen değişikliklerinde paneller üzerinde ortaya çıkardığı üretim farklılıkları görülebilmektedir. Grafığe bakılarak mevsimlere bağlı olarak panellerde yapılacak açıl adaptasyonların, verimi artırma yönünde pozitif etki edeceği kanısına da varılabilmektedir.



Şekil 5. Tüm aylara ait ortalama güç örüntülerine ait grafikler

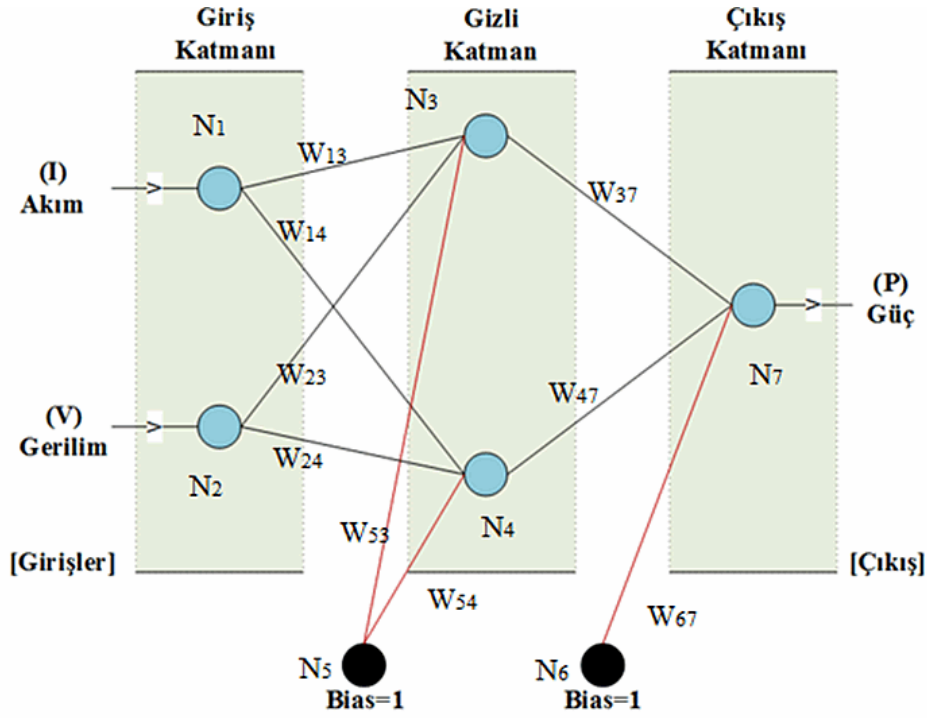
2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları(YSA) insan sinir sisteminin işleyiş yapısını modelleme fikrine dayalı olarak ortaya çıkan ve çok sayıda sinir hücresinin birbirine bağlanarak oluşturduğu öğrenme şeklini referans alan yapay zeka yöntemlerinden birisidir. Bunun yanında sınıflandırma, tahmin yapma, kestirim gibi problemlerde geniş olarak kullanılan etkili ve danışmanlı bir öğrenme metodudur. Günümüzde yapay sinir ağları kullanan sistemler, genellikle çok katmanlı ileri beslemeli ağ modelini ve ağı eğitilmesi için ise geriye yayılım algoritmasını kullanmaktadır [11]. Bu çalışmada da, çok katmanlı ileri beslemeli bir ağı ağırlıklarının hem GY hem de sezgisel algoritmalar olan PSO ve KSA yöntemleri ile belirleyen bir YSA yapısı kullanılmıştır. Üç katmanlı ve ileri beslemeli bir YSA' nın temel yapısı Şekil 6' da gösterilmiştir. Önerilen YSA modeli giriş, gizli ve çıkış olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanı akım ve gerilim olmak üzere 2 nörona sahipken, çıkış katmanında ise güç olmak üzere 1 tane nöron bulunmaktadır. Gizli katman ise 3 tane nörona sahiptir. Gizli katmandaki nöron sayısı problemin özelliğine göre değişiklik göstermektedir. Bu problemde ağı gizli katmanında yer alan 3 nöron ile yeterli ve en iyi performansı sağladığı görülmüştür. Eğitim sonrasında V(gerilim) ve A(akım) ağı verildiğinde P(güç çıkışı) tahmin edebilir duruma gelmektedir. Ağı performansı Eşitlik 1' de gösterilen Ortalama Karesel Hataya(MSE) göre hesaplanmıştır. Burada, h değeri i . örüntünün ağı sürülmesi sonrasında oluşan gerçek ve tahmin edilen çıkışlar arasındaki hatadır. N ise eğitim veri kümesindeki veri sayısını göstermektedir.

$$MSE = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N h_i^2 \quad (1)$$

Önerilen ağı eğitimi, hem GY hem de sezgisel algoritmalar olan PSO ve KSA yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Ağı eğitim verisi olarak gerçek ölçüm değerleri yapılan akım ve gerilim değerleri her bir ay için gün sayısı kadar verilmiştir. Çıkışta ise ağı her bir algoritma için ayrı ayrı hesaplanmış olduğu güç değerleri elde edilmektedir. Son aşamada ölçümü yapılan gerçek güç değerleri, ağı hesapladığı güç değerleri karşılaştırılarak ağı performansı belirlenmektedir. Şekil 6' da de görüleceği gibi kullanılan 5 düğümlü (N1- N5) YSA modelini eğitmek üzere her üç algoritma da 9 farklı ağırlık değerinin(w_1-w_9) hesaplanması sağlanmaktadır. Giriş

katmanında bulunan Akım ve Gerilim değerlerine her ay için hesaplanan ortalama değerler sunulmaktadır. Çıkış katmanında ise ilgili ay için algoritmalar tarafından tahmin edilen güç değerleri elde edilmektedir.



Şekil 6. Yapay Sinir Ağı hücre, bias, ağırlık ve çıkışları

2.2.1 Geriye Yayılım Algoritması Tabanlı YSA

Geriye yayılım algoritması çok katmanlı YSA yapıları için düzenli olarak kullanılan bir algoritmadır [18]. Bu algoritmanın öğrenme kuralı, çıkıştaki toplam hatanın en küçük düzeyde hesaplanması ile ağırlıklar için en uygun değerlere ulaşmayı hedefler. Bu çalışmada, FV panel güç çıkışlarının kestirilmesi ve elde edilen sonuçların sezgisel algoritmalarla bulunan sonuçlarla karşılaştırılması amaçlarıyla geriye yayılım algoritmasından yararlanılmıştır. Ağa verilen girdilere karşılık, ağırlık çıktıları hesaplanır. Beklenen çıktı değeri ile hesaplanan çıktı değerleri karşılaştırılarak çıkan hata geriye doğru ilgili bileşenler üzerine dağıtılır. Sonraki iterasyonda hatanın azaltılması sağlanır. “Hata=Beklenen – Çıktı” olacak şekilde hesaplanır. Mevcut ağ yapısında öncelikle çıkış katmanı ile ara katman arasındaki ağırlıklar güncellenir. Daha sonra ara katmanlar arası çıkışlar ve en sonunda giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıklar güncellenir. Tablo 1’de GY algoritması sözde kodlarla ifade edilmiştir.

Tablo 1. Geriye yayılım algoritmasının sözde kodlarla ifadesi

1:	<i>Eğitimi Örüntüsü belirlenir</i>
2:	<i>Yapay Sinir Ağı modeli oluşturulur: Nöron sayısı, Gizli Katman Nöronları, Çıkış Nöronları Öğrenme oranı η ve momentum oranı α belirlenir</i>
3:	<i>Rastgele Bağlantı ağırlıkları (W_i) ve bias ağırlıkları θ_1 ve θ_2 belirlenir Minimum hata değeri belirlenir E_{min}</i>
4:	<i>Her defasında 1 set girdi örüntüsü uygulayarak katmanlar arasına yayılır ve hata hesaplanır Hata < E_{min} Kontrolü Yapılır</i>
5:	<i>Çıkışta elde edilen hata gizli katman ve giriş katmanı yönünde geriye yayılır ve ağırlıklar güncellenir.</i>
6:	<i>4’ten 5’e adımlar şart sağlanıncaya kadar tekrarlanır</i>

Şekil 6’daki ağ üzerindeki N_3 düğümünün çıkış değeri Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanır.

$$N_{3net} = N_1 * W_{13} + N_2 * W_{23} + Bias * W_{53} \quad (2)$$

$$Out_{N3} = \frac{1}{1+e^{-N_{3net}}} \quad (3)$$

Modellenen ağ üzerindeki N_4 düğümünün çıkış değeri Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanır. N_5 düğümünün çıkış değeri ise Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanır.

$$N_{4net} = N_1 * W_{14} + N_2 * W_{24} + Bias * W_{54} \quad (4)$$

$$Out_{N3} = \frac{1}{1+e^{-N_{4net}}} \quad (5)$$

$$N_{5net} = Out_{N3} * W_{37} + Out_{N4} * W_{47} + Bias * W_{67} \quad (6)$$

$$Out_{N5} = \frac{1}{1+e^{-N_{5net}}} \quad (7)$$

Eşitlik 7’de hesaplanan Out_{N5} çıkış değeri GY algoritması tarafından hesaplanan güç değerini göstermektedir. Bu aşamadan sonra bu değer ile güneş panelinden ölçülen gerçek güç değerinin arasındaki hata hesaplanacak ve geriye yayılım işletilecektir. İleri hesaplama yapıldıktan sonra çıkışta oluşan hatanın katmanlardaki her bir düğüme yayılması sağlanarak ağıın ağırlıklarının güncellenmesi gerekmektedir. Geri hesaplama yapılırken aktivasyon fonksiyonunun (Levenberg-Marquardt) çıkışına ilgili girdinin ne kadar etki ettiğini bulmak için girdiye göre türev işlemi uygulanır. İleri sürümlü YSA’larda kullanılan w ağırlıkları her seferinde Eşitlik 8’e göre güncellenerek yenilenir. Bu durumda geriye yayılım algoritmasının en önemli noktası Δw değerini hesaplayarak en uygun ağırlığa ulaşmaktır. Gerçekte hesaplanan güneş panel güç verileri g ile, w ağırlıklarıyla elde edilen değer y ile gösterilirse, en küçük kareler yöntemiyle elde edilecek hata fonksiyonu E_r Eşitlik 9’daki gibi hesaplanır. e ilgili ileri hesaplamadaki ağıın hatasını göstermektedir. Eğim düşümü (gradient) olarak bilinen bu yöntemde, Eşitlik 10’da görüldüğü gibi w ’ye göre kısmi türevin gösterdiği yönün tersi zamanla minimuma varacaktır. Burada η katsayısı 0-1 aralığında öğrenme katsayısını göstermektedir.

$$w_{13}^{yeni} = w_{13}^{eski} + \Delta w_{13} \quad (8)$$

$$E_r = \frac{1}{2} e^2 = \frac{1}{2} (g - y)^2 \quad (9)$$

$$\Delta w = -\eta \frac{\partial E_r}{\partial w} \quad (10)$$

Ağıın durdurma kriteri sağlanıncaya kadar belli bir adım sayısınca ağıın tüm ağırlıkları Eşitlik 8, 9 ve 10’a göre sürekli olarak güncellenerek, çıkıştaki hata minimuma ulaştırılmaya çalışır. Durdurma kriteri sağlandığında (< 0.001), son ağırlıklar ağıın ağırlıkları olarak alınır ve ilgili giriş değerlerine göre, çıkıştaki güç değerleri hesaplanır.

2.2.2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Tabanlı YSA

Bu çalışmada, FV panel güç çıkışlarının tahmin edilmesi için kullanılan YSA modelinin eğitilmesi için kullanılan sezgisel tekniklerden birisi PSO algoritmasıdır. PSO bir sürü zekası alanı algoritması olup işlemsel zekanın bir alt alanıdır [19]. Bu algoritma popülasyon tabanlı sezgisel bir yöntemdir ve kuş, balık gibi bazı hayvanların yiyecek arama sırasında sergiledikleri davranışlardan esinlenmektedir. PSO algoritmasının amacı, çok boyutlu bir düzlemde tüm parçacıklar için en uygun konumların belirlenmesidir. Algoritma başlangıçta rastgele parçacıklarla başlatılır ve sonra parçacıkların hız ve pozisyonlarının güncellenmesi ile en uygun çözüm aranır. Parçacıklar her nesilde $Pbest$ ve $Gbest$ olarak bilinen iki özel parçacığa göre güncellenir [20]. PSO algoritmasının sözde kodları aşağıdaki Tablo 2’de gösterilmiştir.

Eşitlik 11’de görüldüğü gibi, bir parçacığın hızı her bir iterasyonda aşağıdaki ifade edile güncellenir. Burada, $v_i(t+1)$ i . parçacık için yeni hız, c_1 ve c_2 sırasıyla $Pbest$ ve $Gbest$ için ağırlıklandırma katsayılarıdır. $p_i(t)$ ve $p_i(t+1)$ ise bir t anında sırasıyla i . parçacığın pozisyonu ve yeni pozisyonudur. Bu eşitlikteki $rand()$ fonksiyonu da 0 ve 1 arasında düzenli olarak rastgele değer üretir. Bir parçacığın pozisyonu ise Eşitlik 12’ye göre güncellenir.

$$v_i(t+1) = v_i(t) + c_1 \times rand() \times (Pbest_i - p_i(t)) + c_2 \times rand() \times (Gbest - p_i(t)) \quad (11)$$

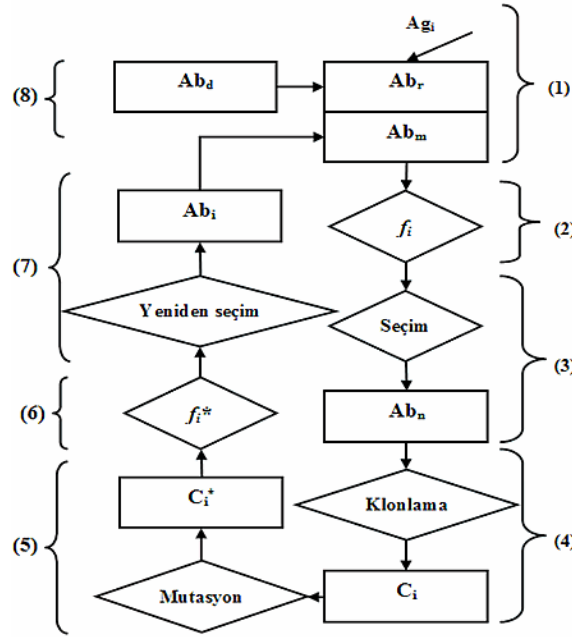
$$p_i(t+1) = p_i(t) + v_i(t+1) \quad (12)$$

Tablo 2. PSO algoritmasının sözde kodlarla ifadesi

1:	P parçacıklarını rastgele başlat
2:	P içerisinde $Pbest$ 'i belirle
3:	P içerisinde $Gbest$ 'i belirle
4:	for (durdurma kriteri sağlanıncaya kadar)
5:	while ($i=1 : P$ 'deki parçacık sayısı)
6:	If ($Pbest_i$ $Pbest$ 'ten daha iyi ise)
7:	$Pbest = Pbest_i$
8:	end if
9:	If ($Pbest$ $Gbest$ 'ten daha iyi ise)
10:	$Gbest = Pbest$
11:	end if
12:	end while
13:	while ($i=1 : P$ 'deki parçacık sayısı)
14:	$Velocity_i$ hızları güncelle
15:	$Position_i$ pozisyonları güncelle
16:	end while
17:	end for

2.2.3 Klonal Seçim Algoritması Tabanlı YSA

Klonal seçim prensibi, bağışıklık sisteminin bir antijenik uyarıma karşı bağışıklık cevabının temel özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılan bir yapay bağışıklık optimizasyon algoritmasıdır [21]. Bu prensibe göre sadece antijenleri tanıyan hücrelerin çoğaldığı görülmektedir. Seçilen hücreler afinite benzerlik olgunlaşması işlemine maruz kalırlar. Bu işlem ile seçilmiş olan hücrelerin antijenlere benzerliği geliştirilmiş olur [22]. Şekil 7' de klonal seçim algoritmasının akış şeması ve işlem adımları gösterilmiştir.



Şekil 7. YBS klonal seçim algoritması akış diyagramı

Klonal seçim algoritmasının işlem adımları şu şekilde açıklanabilir. A_g antijen kümesini ve A_b antikor kümesini göstermek üzere;

1. Rastgele bir antijen (uyarıcı) kümesi (A_{gi}) oluşturulur ve tamamı antikor (bağışıklık sistemi için koruma hücre) kümesinde (A_b) temsil edilir. Burada A_b =hafıza hücreleri (A_{bm}) + geriye kalan hücreler (A_{br})= A_g olduğu görülebilir.
2. A_b kümesindeki N tane A_b' nin tamamının A_g kümesi ile aradaki afinite (benzerlik-uygunluk) ölçümüne göre hesaplanan uygunluk değerlerinin matrisi (f_i) belirlenir.
3. A_b kümesinden n tane en yüksek afiniteye sahip A_b' nin seçilmesi ve A_{bm} kümesinin oluşturulması sağlanır.
4. Seçilen n tane A_b antijenik uygunluklarına göre bağımsız olarak klonlanırlar (yeniden üretilirler) ve klonlanmış hücrelerin bulunduğu küme (C_i) oluşturulur. En yüksek antijenik uygunluğa sahip olan hücre daha fazla klonlanır. Klonlama için Eşitlik

13 kullanılır. Bu eşitlikte N_c her bir antijen için toplam klonlanma sayısını, β klonlama faktörünü ve N toplam antikör sayısını göstermektedir (Klonlama faktörü ile antikör sayısına ait çarpımın tam sayı olmaması durumunda klonlanacak antikör sayısını belirlemek için round/yuvarlama fonksiyonu kullanılmıştır).

$$N_c = \sum_{i=1}^N \text{round}(\beta \cdot N) \quad (13)$$

5. Klonlanmış C_i kümesindeki hücreler antijenik uygunluklarına göre ters orantılı olarak mutasyon işlemine tabii tutulurlar ve mutasyona uğramış hücrelerin bulunduğu kümeyi (C_i^*) oluştururlar. En yüksek uygunluğa sahip hücre, en küçük mutasyon oranına sahiptir. Böylece en az değişikliğe uğrayan hücre bu hücredir. Her bir hücre Eşitlik 14'teki ifadeye göre mutasyona uğrar. Bu ifadeye α mutasyon oranı, ρ mutasyon faktörü ve f ise afinite ölçümleridir (eşitlikte yer alan \exp doğal logaritma sayısını ifade eder)

$$\alpha = \exp(-\rho \cdot f) \quad (14)$$

6. C_i^* klonlanmış hücrelerin kümesindeki her bir hücrenin A_g antijen kümesindeki hücrelerle ilişkili olarak afinite değerleri (f_i^*) hesaplanır.
7. Olgunlaşmış C_i^* kümesinden en yüksek uygunluğa sahip A_b yeniden seçilir. Eğer bu hücrenin uygunluğu A_b hafıza hücre kümesindeki aynı sıradaki hücreden daha iyiyse yer değiştirilir.

Son olarak, A_{br} den d tane en düşük uygunluğa sahip hücre A_{bd} kümesindeki d tane yeni hücre ile değiştirilir ve çeşitlilik sağlanmış olur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Önerilen çalışma üzerindeki tüm deneyler YSA tahmin modeli üzerinde yürütülmüştür. Ayrıca tüm işlemler ve yazılımlar i7 işlemcili, 16 GB RAM belleğe sahip Windows 10 işletim sistemine sahip bir kişisel bilgisayarda MATLAB programı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3.1. Parametre Seçimleri

Çalışmada kullanılan çok katmanlı YSA yapısında toplam 9 adet ağırlık değerinin GY, PSO ve KSA algoritmaları ile belirlenmesi sağlanmıştır. Ağın eğitimi sırasında ilk ağırlık değerleri rastgele belirlenir. Katmanlar arasındaki bu ağırlıklar her bir algoritmanın yapısına göre minimum hata ile son değerlerine ulaştırılır. Ağın çıkış güç değerlerinin kestirilmesi esnasında her bir algoritma 30 defa çalıştırılarak, her bir çalıştırmada elde edilen sonuçların ortalaması alınarak, son FV panel güç çıkış değerleri elde edilmiştir. PSO algoritmasında parçacık sayısı, maksimum nesil sayısı sırasıyla 30 ve 200 olarak; c1 ve c2 sabit katsayıları ise 2.0 olarak ayarlanmıştır. Klonal seçim algoritmasında maksimum nesil sayısı, antikör sayısı, klonlama faktörü ve mutasyon faktörü sırasıyla 200, 30, 0.1 ve 0.5 olarak belirlenmiştir. Her bir algoritmada epok sayısı 200 olarak belirlenmiştir.

3.2. Ölçüm Doğrulama Kriterleri

Ölçüm sonuçlarının doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan üç popüler kriter Ortalama Mutlak Yüzde Hata(MAPE), Ortalama Karesel Hataların Karekökü(RMSE) ve Varyans (R^2)'dir. Bu üç istatistiksel kriter Eşitlik (15), Eşitlik (16) ve Eşitlik (17)' de gösterilmiştir. Bu kriterler önerilen YSA modeli üzerinde her bir algoritma kullanılarak tahmin edilen güç değerleri ile ölçümü yapılan gerçek güç değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{i(\text{tahmin edilen})} - F_{i(\text{gerçek})})^2}{n}} \quad (15)$$

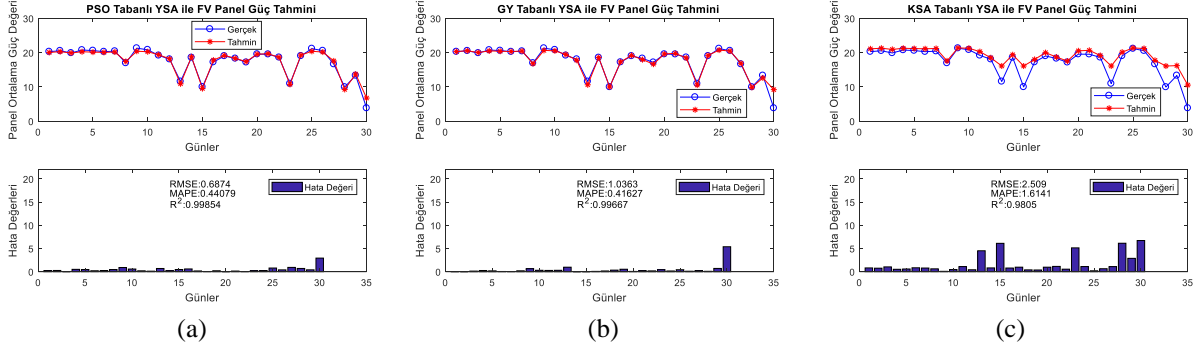
$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |F_{i(\text{tahmin edilen})} - F_{i(\text{gerçek})}|}{n} \quad (16)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |F_{i(\text{tahmin edilen})} - F_{i(\text{gerçek})}|^2}{\sum_{i=1}^n (F_{i(\text{gerçek})})^2} \right) \quad (17)$$

3.3 Bulgular

Bu çalışmada önerilen yöntem ile geriye yayılım algoritması ve iki farklı sezgisel algoritma olan PSO ve KSA yöntemleri yardımıyla eğitilen YSA modelleri kullanılarak güneş panel güç çıkışlarının tahmin edilmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 8(a)' da 2015 Eylül ayında, toplamda 18 gün için 60°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA hibrit metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R^2 ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.6874, 0.4408 ve 0.9985'tir. Şekil 8(b)' de 2015 Mayıs ayında, toplamda 18 gün için 50°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R^2 ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri

de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 1.0363, 0.4162 ve 0.9966'dır. Şekil 8(c)' de 2015 Mayıs ayında, toplamda 18 gün için 50°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R^2 ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 2.5090, 1.6141 ve 0.9805'tir. Bunun yanında Tablo 3'te ise 2015 Eylül ayında her farklı açıdaki paneller tahmin sonuçları değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

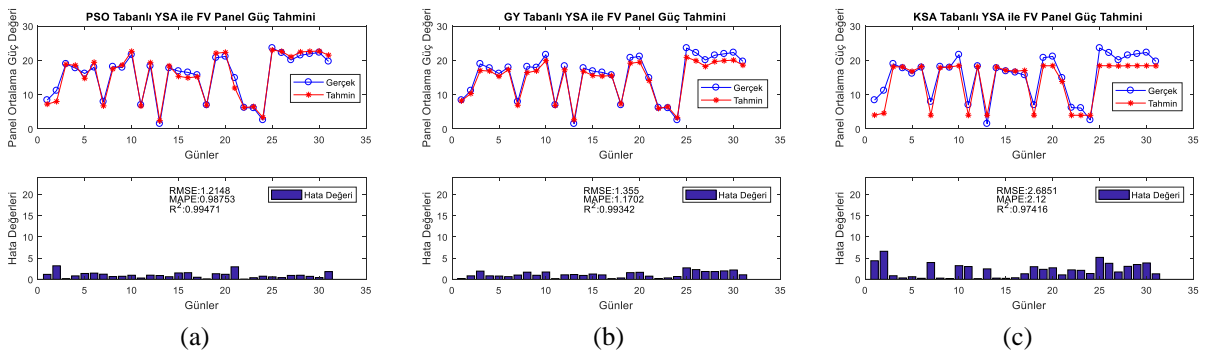


Şekil 8. 2015 Eylül PV panel güç çıkışlarının tahmin edilmesi

Tablo 3. Eylül 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	0.9773	2.1064	1.9764	1.0769	1.4069	1.9629	0.5987	0.8805	1.4135	1.5466	0.5417	1.8145	1.0245	2.5431	1.1381	0.6874	1.0363	2.509
MAPE	0.6662	0.7897	1.787	0.7813	0.7848	1.4367	0.2671	0.3270	1.0309	0.725	0.2617	1.3881	0.8741	1.7256	0.9706	0.4408	0.4163	1.6141
R ²	0.9976	0.9876	0.9903	0.9971	0.9944	0.9903	0.9989	0.9976	0.9947	0.994	0.9993	0.9917	0.9971	0.9797	0.9964	0.9985	0.9967	0.9805

Şekil 9(a)' da 2015 Ekim ayında 40°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Şekil 9(b)' de 2015 Ekim ayında 10°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerleri, Şekil 9(c)' da ise 2015 Ekim ayında 10°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerleri sunulmuştur. Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve R^2 ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 9. 2015 Ekim PV panel güç çıkışlarının tahmin edilmesi

Bunun yanında Tablo 4'te ise 2015 Ekim ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise GY-YSA'nın PSO-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu göze çarpmaktadır.

Tablo 4. Ekim 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	R ²	MAPE	RMSE	10°			20°			30°			40°			50°			60°																																		
				PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA																																
	0.994	0.8769	1.3398	0.9989	0.4132	0.5767	0.9676	3.1105	0.9963	0.7072	1.0588	0.9993	0.3827	0.4681	0.9821	1.8723	2.3289	0.9976	0.6162	0.8323	0.9994	0.3409	0.4064	0.9857	1.6724	2.0207	0.9947	0.9875	1.2148	0.9934	1.1702	1.355	0.9742	2.12	2.6851	0.9979	0.5617	0.7575	0.9982	0.5421	0.7106	0.9807	1.8453	2.2993	0.994	0.9434	1.3251	0.9994	0.3536	0.4291	0.9843	1.7432	2.1467

Tablo 5. Mayıs 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	R ²	MAPE	RMSE	10°			20°			30°			40°			50°			60°																									
				PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA																							
	0.9847	1.7388	2.8779	0.9984	0.5522	0.9372	0.9699	3.2527	0.9952	0.9228	1.46	0.9875	1.2743	2.3475	0.9761	2.0102	3.4876	0.9901	1.2632	2.2122	0.997	0.772	1.2087	0.9822	1.926	2.9627	0.9861	1.2738	2.6456	0.9941	0.9072	1.7307	0.9768	2.1235	3.1992	0.9886	1.4724	2.2789	0.987	1.4416	2.435	0.9912	1.1949	1.95

Tablo 6. Haziran 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması

	R ²	MAPE	RMSE	10°			20°			30°			40°			50°			60°																																
				PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA																														
	0.9994	0.367	0.4733	0.9997	0.5695	0.7641	0.9880	1.6856	0.9995	0.3401	0.4236	0.9993	0.4144	0.5072	0.9984	0.5954	0.7887	0.9987	0.5121	0.68	0.9772	0.7879	0.9776	0.9893	1.5216	1.9834	0.9991	0.4077	0.5592	0.5571	0.9956	0.7749	1.2603	0.9993	0.3777	0.4629	0.9994	0.3074	0.4326	0.9953	1.0383	1.224	0.9987	0.5008	0.6144	0.9993	0.3287	0.4481	0.99	1.4241	1.7285

Tablo 7. Temmuz 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	R ²	MAPE	RMSE	10°			20°			30°			40°			50°			60°																																
				PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA																														
	0.9994	0.367	0.4733	0.9997	0.5695	0.7641	0.9880	1.6856	0.9995	0.3401	0.4236	0.9993	0.4144	0.5072	0.9984	0.5954	0.7887	0.9987	0.5121	0.68	0.9772	0.7879	0.9776	0.9893	1.5216	1.9834	0.9991	0.4077	0.5592	0.5571	0.9956	0.7749	1.2603	0.9993	0.3777	0.4629	0.9994	0.3074	0.4326	0.9953	1.0383	1.224	0.9987	0.5008	0.6144	0.9993	0.3287	0.4481	0.99	1.4241	1.7285

Mayıs 2015 ve Mayıs 2016 ayları arasında, her bir panelden her bir algoritma kullanılarak elde edilen FV panel güç çıkışlarının ölçüm kriterlerine göre ayrıntılı olarak karşılaştırması sırasıyla Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9, Tablo 10'dasunulmuştur. Bu ayrıntılı tablolardan da görüldüğü gibi, her ölçüm kriterinde de en iyi sonuçlar genel olarak sezgisel bir yöntem olan PSO algoritması ile eğitim yapılan YSA modelinde elde edilmiştir. Diğer bir sezgisel teknik olan KSA algoritması ile elde edilen sonuçlar

ise, bazı ayların bazı açılarındaki panellerinde yüksek olsa da genellikle diğer iki algoritmaya göre daha düşüktür. Bazı tahmin sonuçlarında ise GY ile eğitilen YSA yapısının sonuçlarının PSO ile elde edilen doğrulama kriterleri değerlerine yüksek veya yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Ağustos 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
MAPE	0.2064	0.3983	1.6298	0.3218	0.498	1.8586	0.2895	1.4148	1.3676	0.5281	0.4442	1.0209	0.3421	0.8469	1.6843	0.297	0.8477	2.3376
RMSE	0.2707	0.5206	1.9599	0.4955	0.6163	2.6569	0.3685	1.8958	2.5553	0.4327	0.3646	0.8415	0.4475	1.4792	1.9736	0.3544	1.0919	2.5298
R ²	0.9998	0.9992	0.9892	0.9993	0.999	0.9821	0.9997	0.991	0.9837	0.9992	0.9995	0.9974	0.9995	0.9942	0.9896	0.9996	0.9965	0.9814

Tablo 9. Kasım 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	1.2961	3.0883	2.6942	1.1911	1.2578	2.3434	0.9113	0.9296	2.6445	0.9846	0.8132	3.1941	1.0103	1.0707	2.7193	1.453	0.4696	1.9908
MAPE	0.927	2.0227	2.3614	0.7427	0.5594	1.7672	0.5532	0.5069	1.9952	0.7585	0.4467	2.0109	0.6397	0.4908	1.9751	0.9674	0.3854	1.4303
R ²	0.995	0.9714	0.9782	0.996	0.9955	0.9845	0.9976	0.9975	0.9798	0.9973	0.9981	0.9716	0.9967	0.9963	0.9763	0.9943	0.9994	0.9894

Tablo 10. Aralık 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
MAPE	0.2064	0.3983	1.6298	0.3218	0.4980	1.8586	0.7105	0.9449	2.9922	0.4363	1.7628	2.0853	0.3421	0.8469	1.6843	0.2970	0.8477	2.3376
RMSE	0.2707	0.5206	1.9599	0.4955	0.6163	2.6569	0.4933	0.5212	2.7898	0.6572	2.225	2.9719	0.4475	1.4792	1.9736	0.3544	1.0919	2.5298
R ²	0.9998	0.9992	0.9892	0.9993	0.9990	0.9821	0.9987	0.9978	0.9776	0.999	0.9885	0.9796	0.9995	0.9942	0.9896	0.9996	0.9965	0.9814

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada geriye yayılım algoritmasının yanında iki farklı sezgisel yöntem kullanılarak eğitilen bir YSA modeli ile farklı eğim açılarına (10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°) yerleştirilmiş FV panel güç çıkışlarının, akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak aylık olarak tahmin edilmesine yönelik hibrit bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen bu çalışmada, gerçek güç değerleri ile geriye yayılım algoritması yanında PSO ve KSA sezgisel algoritmaları ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılması değerlendirilmesi de yapılmıştır. Ayrıca, yöntemin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkinliği ölçüm yapılan gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ortalama yüzdelik hatanın analizi ile doğrulanmıştır.

Çalışmada tahmin sonuçlarının gerçek güç değerleri ile doğrulanmasında, MAPE, RMSE ve R² istatistiksel kriterlerinden yararlanılmıştır. Her üç kriterlerden elde edilen doğrulama sonuçlarına bakıldığında, önceki bölümdeki çizelgelerden de görülebileceği üzere hemen hemen tüm aylar için PSO algoritması ile eğitilen YSA yapısının, KSA ve GY algoritmaları ile eğitilen

YSA yapılarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bazı sonuçlarda ise GY ile eğitilen YSA yapısının, PSO ile eğitilen YSA yapısına göre, sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak deneysel akım ve gerilim değerleri kullanılarak PSO algoritması ile eğitilen YSA'nın güç tahmin sonuçlarının gerçek güç değerleri benzer eğilimler gösterdiği görülmüştür.

Çalışmada ağı öğrenme aşamasında kullanılan algoritmaların, aynı zamanda aylık ortalama güç çıkışlarının tahmin edilmesi için harcanan çalışma süreleri de karşılaştırılmıştır. PSO tabanlı YSA ile aylık ortalama güç çıkışının tahmini ortalama 1.52 saniye sürerken, GY tabanlı YSA ile ortalama 1.48 saniye ve KSA tabanlı YSA ile ortalama 2.01 saniye sürdüğü hesaplanmıştır.

Bundan sonraki aşamada ağa verilecek girdi sayısının artırılması, güneş ışınım verisi gibi ek giriş parametrelerin ölçülmesi, tahmin başarımını artırma yönünde etki edecektir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada kullanılan güneş paneli verilerinin elde edilmesini sağlayan, deney düzeneğini kuran ve verilerin kullanılmasına izin veren Parmaksız vd. [3] çalışmasının yazarlarına sonsuz şükranlarını sunmaktadır.

Kaynakça

1. Theodoropoulos, K., et al. (2017). Monthly Electricity Statistics. International Energy Agency, (<https://www.iea.org/media/statistics/surveys/electricity/mes.pdf>).
2. Engin, S., Gülersoy, t. (2018). Hibrid Güç Sistemleri İçin Evirici Tasarımı, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14, pp. 228-234.
3. Parmaksız, H., Karafil A., Özbay H., Kesler M. (2016). Farklı Eğitim Açılarındaki Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Ölçümlerinin Raspberry Pi ile İzlenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), pp. 711-718.
4. Lorenz, E., Hurka, J., Heinemann, D., et al. (2009). Irradiance forecasting for the power prediction of grid-connected photovoltaic systems, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(1), pp. 2-10.
5. Kudo, M., Nozaki, Y., Endo, H. (2009). Forecasting electric power generation in a photovoltaic power system for an energy network. *Electrical Engineering in Japan*, 167(4), pp. 16-23.
6. Junseok, S., Krishnamurthy, V., Kwasinski, A., et al. (2012). Development of a Markov-Chain-Based Energy Storage Model for Power Supply Availability Assessment of Photovoltaic Generation Plants, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 4(2), pp. 491-500.
7. Li, Y., Niu, J., (2009). Forecast of power generation for grid-connected photovoltaic system based on Markov chain, *Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 200, Asia-Pacific*. 1-4.
8. Ran, L., Guang-min, L. (2008). Photovoltaic power generation output forecasting based on support vector machine regression technique, *CNKI Journal of Electric Power*, 2, 031.
9. Shi, J., Lee, W. J., Liu, Y., et al. (2012). Forecasting Power Output of Photovoltaic Systems Based on Weather Classification and Support Vector Machines, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 48(3), pp. 1064-1069.
10. Wang, F., Mi, Z., Su, S., Zhang, C. (2011). A practical model for single-step power prediction of grid-connected PV plant using artificial neural network, *Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT)*, pp. 1-4.
11. Kou, J., et al. (2013). Photovoltaic power forecasting based on artificial neural network and meteorological data, *TENCON 2013-2013 IEEE Region 10 Conference, Xian, China*.
12. Zhang, N. et al. (2013). Solar Radiation Prediction Based on Particle Swarm Optimization and Evolutionary Algorithm Using Recurrent Neural Networks, *IEEE Annual System Conference*.
13. Qasrawi, I., Awad, M. (2015). Prediction of the Power Output of Solar Cells Using Neural Networks: Solar Cells Energy Sector in Palestine, *International Journal of Computer Science and Security (IJCSS)*, 9(6), pp. 280.
14. Zhu, H., Li, X., (2016). A Power Prediction Method for Photovoltaic Power Plant Based on Wavelet Decomposition and Artificial Neural Networks”, *Energies*, 9(1), pp. 11.
15. Prokop, L., et al. (2012). Photovoltaic Power Plant Output Estimation by Neural Networks and Fuzzy Inference, *IDEAL 2012*, pp. 810-817.
16. Paulin, B.J., Praynlin, E. (2016). Solar Photovoltaic Output Power Forecasting Using Back Propagation Neural Network, *ICTACT Journal on Soft Computing*, 6(2).
17. Rana M., et al. (2015). Forecasting Solar Power Generated by Grid Connected PV Systems Using Ensembles of Neural Networks, *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Ireland.
18. Kahramanli, H., Allahverdi, N. (2008). Design of a hybrid system for the diabetes and heart diseases, *Expert Systems with Applications*, 35 (1), pp. 82-89.
19. Franklin, S.W., Rajan, S., Computerized screening of diabetic retinopathy employing blood vessel segmentation in retinal images, *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 34 (2), pp. 117-124.
20. Haykin, S., (2004). A comprehensive foundation, *Neural networks*, 2, pp. 41.
21. De Castro, L.N., Von Zuben, F.J. (2002). Learning and optimization using the clonal selection principle, *Evolutionary Computation*, 6(3), pp. 239-251.
22. Gao, X.Z. (2009). Clonal optimization-based negative selection algorithm with applications in motor fault detection, *Neural Computing and Applications*, 18(7), pp. 719-729.



Electropolymerization of 4-amino-3-hydrazino-5-mercapto-1,2,4-triazole (Purpald®)

Mert Soysal^{1*}

¹ Aydın Adnan Menderes University, Aydın Vocational School of Health Services, Aydın, Turkey (ORCID: 0000-0002-5685-0261)

(First received 7 April 2019 and in final form 9 May 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.550431)

ATIF/REFERENCE: Soysal, M. (2019). Electropolymerization of 4-amino-3-hydrazino-5-mercapto-1,2,4-triazole (Purpald®). *European Journal of Science and Technology*, (16), 159-165.

Abstract

In this study electropolymerization of 4-amino-3-hydrazino-5-mercapto-1,2,4-triazole (Purpald®) on the disposable pencil graphite electrode (PGE) was described and the electroactivity of the polymer film coated and naked PG electrodes were checked against $K_3[Fe(CN)_6]$ / $K_4[Fe(CN)_6]$ in pH 8 Britton-Robinson (BR) buffer solution. The electropolymerization of Purpald® film was performed with cyclic voltammetry (CV). The optimal conditions of Purpald® film coated electrode were performed using electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The conductivity of the Purplad® modified electrodes was compared with bare and p-phenylenediamine modified PG electrodes by EIS technique. The results indicated that electrosynthesized poly(Purplad®) film could be used for modification of electrodes to be used in electrochemical analysis and sensor applications.

Keywords: Conducting polymer, electropolymerization, Films, Triazole derivatives, Pencil graphite electrodes.

4-amino-3-hydrazino-5-mercapto-1,2,4-triazole (Purpald®)'un Elektropolimerizasyonu

Öz

Bu çalışmada, tek kullanımlık kalem grafit elektrot (PGE) üzerinde 4-amino-3-hidrazino-5-merkaptto-1,2,4-triazolün (Purpald®) elektropolimerizasyonu tanımlanmış ve polimer film kaplı ve çıplak PG'nin elektroaktivitesi, pH 8 Britton Robinson (BR) tampon çözeltisi içerisinde hazırlanan $K_3 [Fe (CN) 6]$ / $K_4 [Fe (CN) 6]$ çözeltisi ile test edildi. Purpald® filminin elektropolimerizasyonu döngülü voltametri (CV) ile yapıldı. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) kullanılarak, Purpald® film kaplı elektrotun optimum koşulları belirlenmiştir. Purplad® ile modifiye edilmiş elektrotların iletkenliği, EIS tekniği ile çıplak ve p-fenilendiamin ile modifiye edilmiş PG elektrotları ile karşılaştırıldı. Sonuçlar, elektrosentezlenmiş poli (Purplad®) filmin, elektrokimyasal analizlerde ve sensör uygulamalarında kullanılacak elektrotların modifikasyonu için kullanılabilceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: İletken polimer, Elektropolimerizasyon, Filmler, Triazole Türevleri, Kurşun kalem elektrotlar.

¹ Mert Soysal: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Aydın, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5685-0261, mertsoysal@gmail.com

1. Introduction

Polymers are very long chain molecules formed by the recursive addition of relatively small molecules called monomers. Both synthetic and natural polymers are widely used in our daily life because of their wide use in various fields of applied science (Awuzie, 2017; Petersen et al., 2018).

Among the synthetic polymers, conductive polymers have attracted considerable interest as important polymeric materials since the early 1970's of poly(acetylene) and largely was focused on polypyrrole, polyfuran and heterocyclic molecules. Conjugated polymers derived from heterocyclic compounds have cropped out as very rewarding materials for electrochromic devices, electronics, supercapacitor, data storage, photovoltaic cell, biological and chemical sensors (Dispenza et al., 2015; Taşdelen, 2017; Lamiri et al., 2017; Carbas et al., 2017; Belhousse et al., 2017).

Polymer films based on modified electrodes have received extensive interest due to their broad scope of application in the chemical and biological sensor (Mantione et al., 2017; Gu et al., 2017). Modification can be achieved on electrode surfaces either by electropolymerization or by forming a polymer film directly on the electrode surface through a chemical reaction in a suitable medium. Electropolymerization is a facile and effective approach to preparing polymer film based electrodes. Electropolymerization process conditions (concentration, scan rate, the range of potential etc.) can be easily controlled and thus conductive films having different properties, such as thickness, and functions (e.g. impregnation of charge transport agents) can be obtained (Dunst et al., 2017; Kim and Palmore, 2012; Chen et al., 2013; Correa et al., 2016; Mangione et al., 2018; Castaneda et al., 2017; Boursicot et al., 2017; Wolfart et al., 2017; Devasurendra et al., 2017; Si and Song, 2018; Azak et al., 2018; Shamsipur et al., 2018; Rao et al., 2018).

Purplad® is a chemical material acting as a pigment and/or a colour exchanger agent used in the detection of aldehyde and aldehyde derivatives. Due to the S, C and N atoms present in the Purplad® structure, it shows an ideal ligand effect for metal complexes (Chu et al., 2018; do Carmo et al., 2015; Wondracek et al., 2016; Hill et al., 2009).

The goal of the present research is primarily to expose the similarity and discrepancy in electropolymerization conditions and electroactivities between the Purplad® and p-phenylenediamine film coated electrodes. Characterization of these polymer films were performed employing electrochemical impedance spectroscopy and cyclic voltammetry.

2. Material and Methods

2.1. Reagents and Instruments

Purplad® ($\geq 99\%$), p-phenylenediamine (98%, HPLC grade), sodium hydroxide ($\geq 98\%$), glacial acetic acid (100%), boric acid ($\geq 99.5\%$), phosphoric acid ($\geq 85\%$), dimethyl sulfoxide ($\geq 99.9\%$) were purchased from Sigma-Aldrich. Britton-Robinson buffer solutions (BR) were prepared with 2.47 g H_3BO_3 , 2.29 mL CH_3COOH and 2.69 H_3PO_4 and 5 M NaOH solution of appropriate concentration was added until the desired pH was reached. All the used chemicals were of analytical purity and have not been subjected to any purification process. The chemical solutions used in the experiments were prepared with ultrapure water. All pH buffer solutions were stored at 4 °C. The analyte and monomer solutions were freshly prepared each day. Tombow (HB, 0.5 mm) pencil graphite was purchased from a stationery shop.

An IVIUM Compact Stat Plus Model electrochemical analyzer (The Netherlands) was used for cyclic voltammetry (CV) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The three electrode system consisted of a pencil graphite electrode (PGE) as working, an Ag/AgCl electrode (BAS, Model RE-5B, USA) as reference, and a platinum wire as auxiliary. Thermo Scientific Orion 4-Star plus pH/Conductivity Meter was used to identify the pH of buffer solutions. Ultrapure water was provided from a LABCONCO WaterPro Water Purification Systems (USA).

2.2. Preparation of Purplad®-PGE

Electropolymerization of Purplad® onto the PGE was executed by using CV. Electrosynthesis solution consisted of 1×10^{-4} mol/L Purplad® in pH 8 BR buffer solution and the potential of the PGE working electrode was cycled 5 times between from 0.0 to 0.6 V at a scan rate of 25 mVs^{-1} . Then, PGE was removed from the synthesis solution and washed several times with pH 8 BR buffer solution to remove any residual compounds left within the polymer matrix. The p-phenylenediamine-PG electrode was prepared under the same conditions as Purplad®-PGE. Other working electrodes used for comparison purposes included bare PGE and p-phenylenediamine-PGE.

2.3. Impedance Measurements

The measurements of EIS were executed in a mixture of a 2.5 mM $K_4[Fe(CN)_6]/K_3[Fe(CN)_6]$ with 0.1 M KCl as the adjuvant electrolyte. The data of EIS has carried out in the frequency range from 100 kHz to 0.1 Hz by applying an AC voltage with 100 mV wave amplitude and at an electrode potential of 0.222 V, which is the formal potential of $K_4[Fe(CN)_6]/K_3[Fe(CN)_6]$ solution.

3. Results and Discussion

3.1. Electrochemical Behavior of Purplad®

The formation of Purplad[®] film on the PG electrode surface is demonstrated in Figure 1. Electropolymerization of Purplad[®] was followed by CV performed in Britton-Robinson (BR) buffer (pH 8). The figure indicates one irreversible oxidation peak, which presumably was responsible for the electrochemical polymerization at 0.280 V vs. Ag/AgCl. As shown in Figure 1, Purplad[®] can easily be polymerized via potentiodynamic polymerization between (0.0) and (+0.6) V. After the first cycle, the oxidation peak current tended to decrease.

After completion of the electropolymerization process, the modified electrode was washed 10 times with 0.1 BR (pH 8) buffer solution and left to dry.

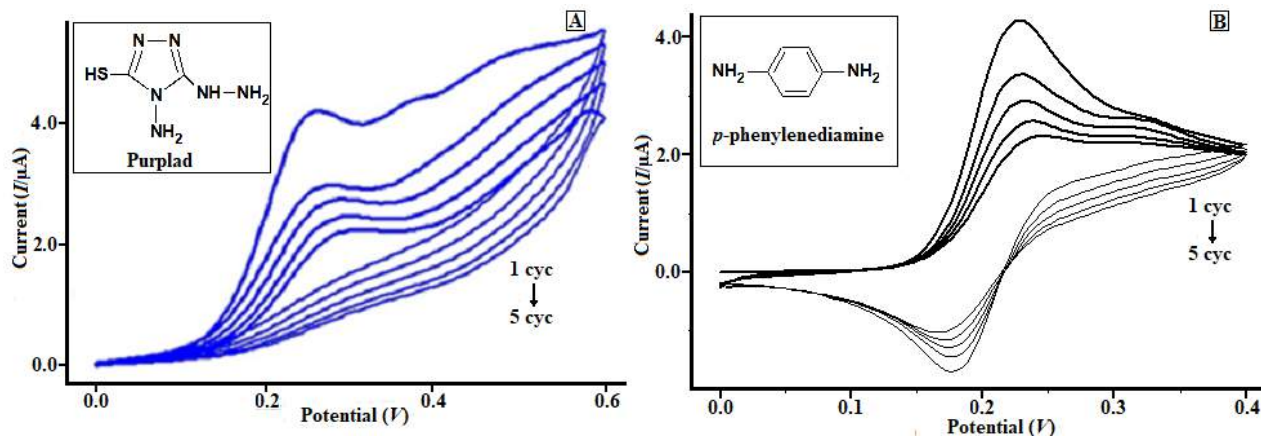


Figure 1. A) Electropolymerization of Purplad[®] on the PGE in pH 8 BR buffer containing 0.1 mM Purplad[®]. The potential sweeps applied between (0.0 V) and (+0.6 V) with the scan rate of 25 mVs⁻¹. B) Electropolymerization of p-phenylenediamine on the PGE in pH 8 BR buffer containing 0.1 mM p-phenylenediamine. The potential sweeps applied between (0.0 V) and (+0.4 V) with the scan rate of 25 mVs⁻¹.

As shown in Figure 1B, in the electropolymerization modification process with the p-phenylenediamine monomer known as a conductive monomer, it is seen that the bare electrode surface changes at the end of each cycle and accordingly decreases the peak current values of the monomer obtained in the CV voltammogram. In this study, I claim that the Purplad[®] molecule can be used as a conductive monomer such as p-phenylenediamine. The obtained CV results confirm this argument.

Thereafter, the voltammetric signals of the Purplad[®] in BR buffer solutions at different pH (2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8) values were examined by CV as shown in Figure 2. The oxidation peak current of the Purplad[®] shifted cathodically with the increasing pH. This result shows that -NH₂ functional groups in the structure of Purplad[®] molecule are oxidized at lower potential values in acidic media.

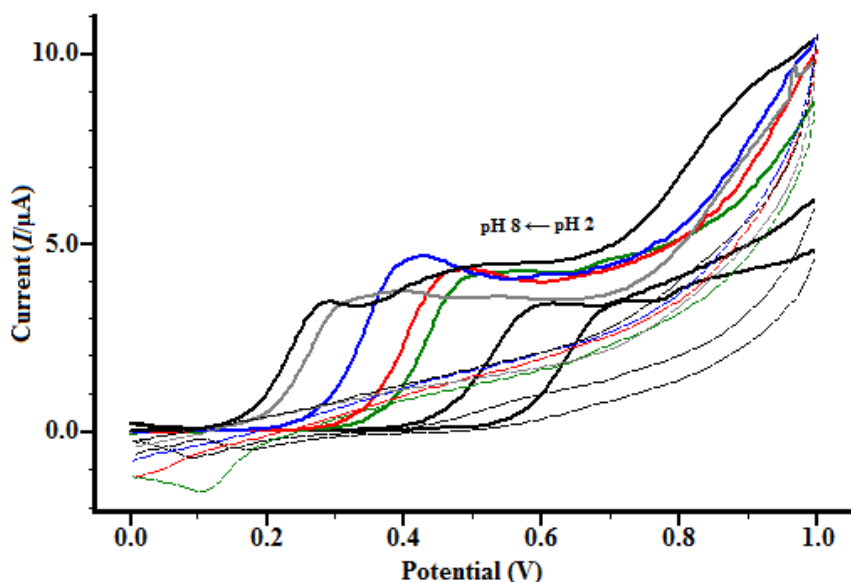


Figure 2. Electropolymerization of Purplad[®] on the PGE in different pH BR buffer containing 0.1 mM Purplad[®]. The potential sweeps applied between (0.0 V) and (+1.0 V) with the scan rate of 25 mVs⁻¹.

3.2. Electrochemical Characterization

The electrochemical behavior of the Purplad[®] film modified PG electrode was studied using [Fe(CN)₆]^{3-/4-} as redox solution by CV as shown in Fig. 3. Figure 3 also depicts the CV obtained by bare PGE. Bare electrode indicated sharp redox peaks at potentials of 0.260 V and 0.180 V; and Purplad[®] film modified PGE indicated wide redox peaks at potentials of 0.292 V and 0.160 V for anodic

and cathodic zones, respectively. When compared with the bare electrode, the modified electrode displayed well defined electrochemical features indicating rapid electron transfer kinetics almost at the same potential and peak current.

There is some decrease in current density compared to the bare electrode. This result suggests that the surface of the bare electrode is coated with Purplad[®] molecule and this case, the coated electrode partially forms an insulator. Although the coated electrode exhibits insulating properties, plenty of NH₂ and HS groups are formed on the electrode surface. These groups will be advantageous in the analysis process with the coated electrodes.

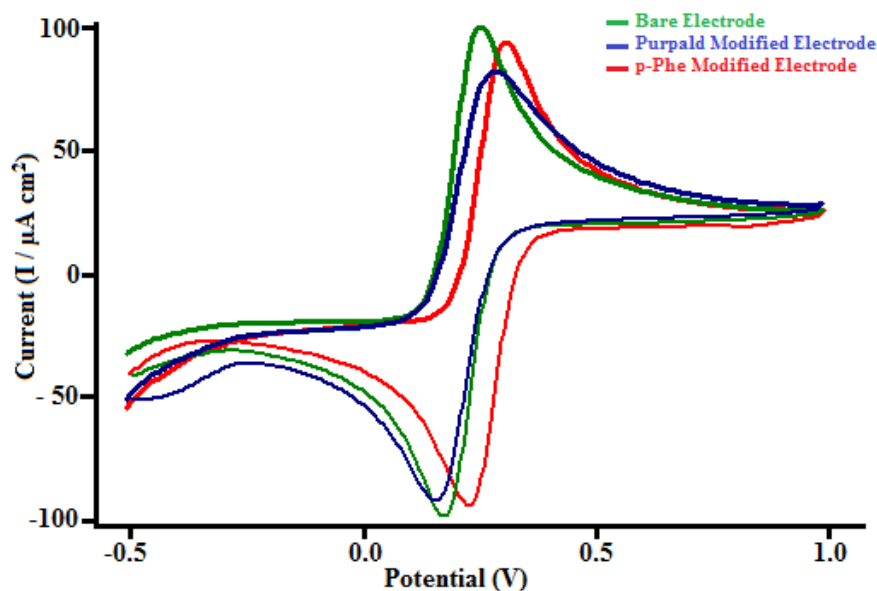


Figure 3. Cyclic voltammograms obtained with Purplad[®] modified and bare PGE using $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ in BR buffer (pH 8) solution. The potential sweeps applied between (-0.5 V) and (+1.0 V) with the scan rate 25 mVs^{-1}

When CV is used in electrochemical polymerization for the modification of voltammetric electrodes it is well known that the thickness of the resultant polymer film is somehow related to cycle number. Therefore, it may not be wrong to assume that number of the cycles not only has a significant effect on the polymer film thickness and morphology but also on its resistivity and charge transfer characteristics.

On the other hand, electrochemical impedance spectroscopy (EIS) is an efficient and quick method to elucidate physical and electronic properties of electrochemical systems such as diffusion coefficients, electron transfer rate constants, adsorption mechanisms, charge transfer resistances and capacitances.

The EIS is a potent tool for investigating the modified electrode surfaces for their resistivity and charge transfer characteristics. In the Nyquist impedance spectra, the semicircle fragment at higher frequencies corresponds to the charge-transfer limited process and linear fragment at lower frequencies can be attributed to the diffusion process. The diameter of the semicircle symbolizes the charge-transfer resistance (R_{ct}) at the electrode surface.

Figure 4 demonstrates the EIS of the polymer films of varying thickness obtained with various cycles of layers. For the fabrication of electrochemical sensors using polymeric coatings it is generally desirable to obtain reasonably thick films as they may contain large amount of functional groups on the surface and within the matrix. However, with thick films diffusion characteristics of the films are destroyed and conductivity of the electrode surfaces is unfavorably affected. As seen in Figure 4, film thicknesses obtained up to 10 cycles display desirable features in EIS spectra. Namely; semicircle with smaller diameter and linear part with 45° angle. Considering both the conductivity and the amplexness of functional groups film obtained with 10 cycles was chosen as optimum.

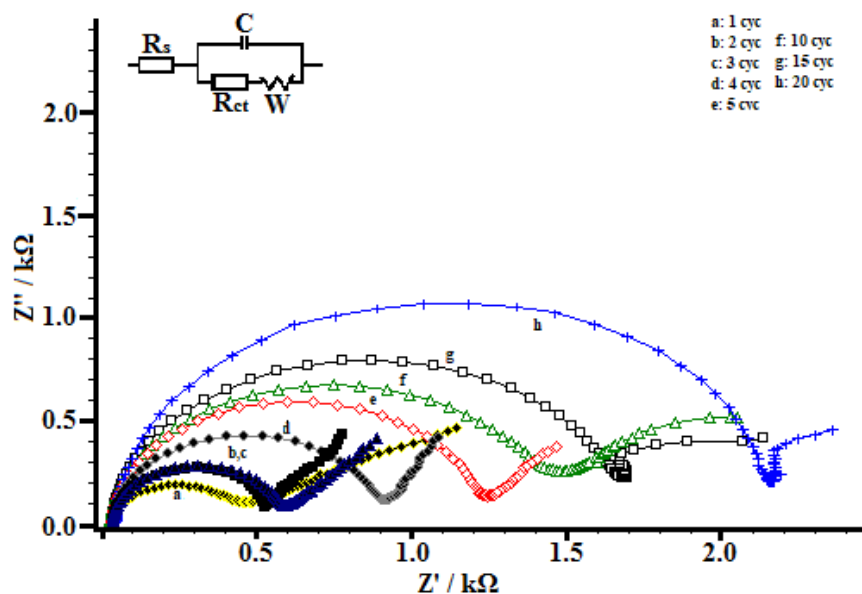


Figure 4. The Nyquist plots of PGE coated by Purplad[®] in presence of different number of cycle.

The ohmic resistance (R_s) is the resistance of the solution between the electrodes, which, unlike the impedance properties, act as a real resistance to mass transfer in the electrode reaction over a wide range of conditions. The interfacial charge transfer resistance (R_{ct}) is related to interfacial processes of charge/ion transfer through the electrode/electrolyte interface. If the chemical system is kinetically slow-going, it will show a large semicircle (R_{ct}), indicating that mass transfer, which is an important factor, is only effective in a very limited frequency range. The smaller semicircle (R_{ct}) indicates the rapid transfer capability of the charge/ions. This approach suggests that the surface of the electrode is conductive. In order to evaluate the conductivity of the Purplad[®] modified electrode, a p-phenylenediamine (known as conductive polymer) modified electrode was prepared and R_{ct} values of the bare and the polymer modified (p-Phe-PGE) electrodes were assessed from the EIS measurements (Figure 5).

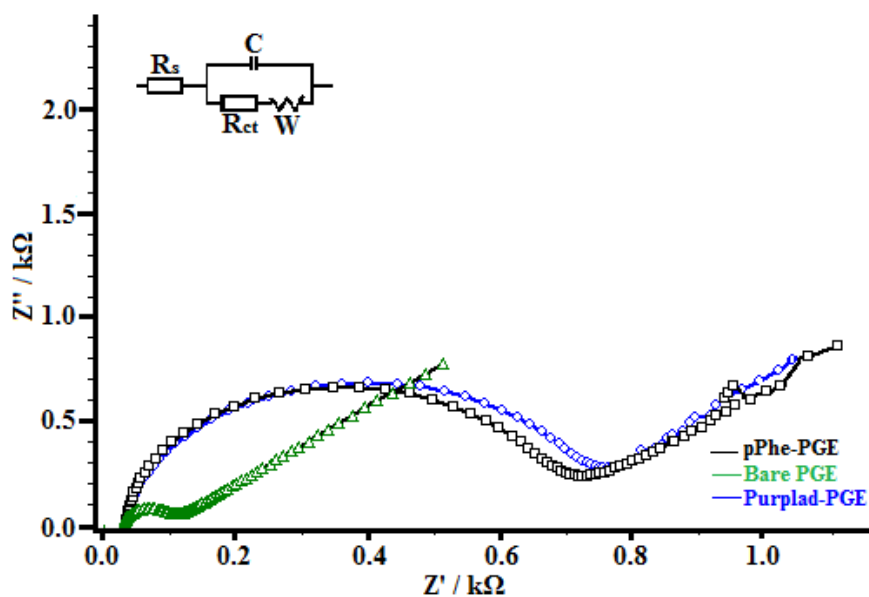


Figure 5. The Nyquist plots of bare PGE, p-Phe-PGE and Purplad[®]-PGE in the 2.5 mM $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ in 0.1 M KCl solution.

According to Fig. 5, the R_{ct} value of Purplad[®]-PGE is slightly higher than the value of the p-Phe-PG electrode; yet, this value for both polymer electrodes are much higher than that of the bare electrode. This implies that the charge/ion transfer property on the electrode surface was almost the same for both p-Phe-PGE and Purplad[®]-PGE electrodes.

Conclusion

The Purplad[®] modified electrode was prepared by electrochemical polymerization and was successfully characterized by electrochemical techniques. Furthermore, comparison of the electrochemical properties of bare, p-phenylenediamine modified and Purplad[®] modified electrodes were performed by EIS and CV measurements. As the results implied, Purplad[®] modified electrodes can be used for further sensor studies.

References

- Awuzie, C. I. (2018). Conducting Polymers. *Materials Today:Proceedings*, (4), 2076-2079.
- Azak, H., Yıldız, H. B., & Carbas, B. B. (2018). Synthesis and Characterization of a New Poly(dithieno(3,2-b:2',3'-d) pyrrole) Derivative Conjugated Polymer: Its Electrochromic and Biosensing Applications. *Polymer*, (134), 44-52.
- Belhousse, S., Tighilt, F. Z., Sam, S., Lasmi, K., Hamdani, K., Tahanout, L., Megherbi, M., & Gabouze, N. (2017). Functionalization of Silicon Nanowires by Conductive and Non-conductive Polymers. *Applied Surface Science*, (421), 134-141.
- Boursicot, S., Bouquet, V., Bombard, A., Langer, M., Boulanger, C., & Viry, M. G. (2017). Electrochemical Behaviour of $Cu_xMo_6S_8$ Thin Films Synthesized by CSD. *Electrochimica Acta*, (257), 436-443.
- Castaneda, L. F., Walsh, F. C., Nava, J. L., & de Leon, C. P. (2017). Graphite Felt as a Versatile Electrode Material: Properties, Reaction Environment, Performance and Applications. *Electrochimica Acta*, (258), 1115-1139.
- Carbas, B. B., Kivrak, A., & Kavak, E. (2017). Electrosynthesis of New Indole Based Donor-acceptor-donor Type Polymer and Investigation of Its Electrochromic Properties. *Materials Chemistry and Physics*, (188), 68-74.
- do Carmo, D. R., Silvestrini, D. R., da Silveira, T. M. S., Cumba, L. R., Filho, N. L. D., & Soares, L. A. (2015). Silsesquioxane Organofunctionalized with 4-amino-3-hydrazino-5-mercapto-1,2,4-triazole: Preparation and Subsequent Reaction with Silver and Potassium Hexacyanoferrate(III) for Detection of L-cysteine. *Materials Science and Engineering C*, (57), 24-30.
- Chen, X., Shen, L., Yuan, C. A., Wong, C. K. Y., & Zhang, G. (2013). Molecular Model for the Charge Carrier Density Dependence of Conductivity of Polyaniline as Chemical Sensing Materials. *Sensors and Actuators B:Chemical*, (177), 856-861.
- Chu, H., Yang, H., Huan, S., Lin, W., Shen, G., & Yu, R. (2018). Adsorption of Purpald SAMs on Silver and Gold Electrodes: a Raman Mapping Study. *Journal of Raman Spectroscopy*, (38), 295-300.
- Correa, A. A., Gonçalves, R., Pereira, R., & Pereira, E. C. (2016). The Electropolymerization of Several Poly(3-methylthiophene) Films in the Same Used Solution and Its Consequence in Their Properties. *Journal of Applied Polymer Science*, (134), 44368-44375.
- Devasurendra, A. M., Zhang, C., Young, J. A., Tillekeratne, L. M. V., Anderson, J. L., & Kirchoff, J. R. (2017). Electropolymerized Pyrrole-based Conductive Polymeric Ionic Liquids and Their Application for Solid-phase Microextraction. *ACS Applied Materials & Interfaces*, (9), 24955-24963.
- Dispenza, C., Sabatino, A., Deghiedy, N., Casaletto, M. P., Spadaro, G., Piazza, S., & Abd El-Rehim, H. A. (2015). In-situ Polymerization of Polyaniline in Radiation Functionalized Polypropylene Films. *Polymer*, (67), 128-138.
- Dunst, K., Karczewski, J., & Jasinski, P. (2017). Nitrogen Dioxide Sensing Properties of PEDOT Polymer Films. *Sensors and Actuators B:Chemical*, (247), 108-113.
- Gu, H., Lin, K., Jian, N., Qu, K., Yu, H., Wei, J., Chen, S., & Xu, J. (2017). Synthesis and Electropolymerization of Furan End-capped Dibenzothiophene/dibenzofuran and Electrochromic Properties of Their Polymers, *International Journal of Electrochemical Science*, (12), 5000-5011.
- Hill, A. A., Lipert, R. J., Fritz, J. S., & Porter, M. D. (2009). A Rapid, Simple Method for Determining Formaldehyde in Drinking Water Using Colorimetric-solid Phase Extraction. *Talanta*, (77), 1405-1408.
- Kim, S. Y., & Palmore, G.T. R. (2012). Electropolymerization vs. Electrocrystallization: Electrosynthesis of Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) in the Presence of 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid. *Electrochimica Acta*, (77), 184-188.
- Lamiri, L., Nessark, B., Habelhames, F., & Sibous, L. (2017). Electrochemical and Spectroscopic Characterization of Poly (bithiophene + 2-methylfuran) Copolymer. *Journal of Molecular Structure*, (1143), 282-287.
- Mangione, M. I., Spanevello, R. A., Minudri, D., Cavallo, P., Otero, L., & Fungo, F. (2018). Electrochemical Films Deposition and Electro-optical Properties of Bis-carbazol-triphenylamine End-caped Dendrimeric Polymers. *Electrochimica Acta*, (263), 585-595.
- Mantione, D., del Agua, I., Sanchez, A. S., & Mecerreyes, D. (2017). Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) Derivatives: Innovative Conductive Polymers for Bioelectronics. *Polymers*, (9), 354-375.
- Peterson, B. M., Lin, S. & Fors, B. P. (2018). Electrochemically Controlled Cationic Polymerization of Vinyl Ethers. *Journal of American Chemical Society*, (140), 2076-2079.
- Rao, H., Zhao, X., Liu, X., Zhong, J., Zhang, Z., Zou, P., Jiang, Y., Wang, X., & Wang, Y. (2018). A Novel Molecularly Imprinted Electrochemical Sensor Based on Graphene Quantum Dots Coated on Hollow Nickel Nanospheres with High Sensitivity and Selectivity for the Rapid Determination of Bisphenol S. *Biosensors and Bioelectronics*, (100), 341-347.
- Shamsipur, M., Moradi, N., & Pashabadi, A. (2018). Coupled Electrochemical-chemical Procedure Used in Construction of Molecularly Imprinted Polymer-based Electrode: a Highly Sensitive Impedimetric Melamine Sensor. *Journal of Solid State Electrochemistry*, (22), 169-180.

- Si, B., & Song, E. (2018). Molecularly Imprinted Polymers for the Selective Detection of Multi Analyte Neurotransmitters. *Microelectronic Engineering*, (187-188), 58-65.
- Taşdelen, B. (2017). Conducting Hydrogels Based on Semi-interpenetrating Networks of Polyaniline in Poly(acrylamide-co-itaconic acid) Matrix: Synthesis and Characterization. *Polymers for Advanced Technologies*, (28), 1865-1871.
- Wondracek, M. H. P., Jorgetto, A. O., Silva, A. C. P., do R. Ivassechen, J., Schneider, J. F., Saeki, M. J., Pedrosa, V. A., Yoshito, W. K., Colauto, F., Ortiz, W. A., & Castro, G. R. (2016). Synthesis of Mesoporous Silica-coated Magnetic Nanoparticles Modified with 4-amino-3-hydrazino-5-mercapto-1,2,4-triazole and Its Applications Cu(II) Adsorbent from Aqueous Samples. *Applied Surface Science*, (367), 533-541.
- Wolfart, F., Hryniewicz, B. M., Marchesi, L. F., Orth, E. S., Dubal, D. P., Romero, P. G., & Vidotti, M. (2017). Direct Electrodeposition of Imidazole Modified Poly(pyrrole) Copolymers: Synthesis, Characterization and Supercapacitive Properties. *Electrochimica Acta*, (243), 260-269.



Göğüs Kanseri Teşhisinde Farklı Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Performans Karşılaştırması

Onur Sevli^{1*}

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8933-8395)

(İlk Geliş Tarihi 14 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 22 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.553549)

ATIF/REFERENCE: Sevli, O. (2019). Göğüs Kanseri Teşhisinde Farklı Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Performans Karşılaştırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 176-185.

Öz

Bilgisayarlar insanlara nazaran daha hızlı işlem yapabilmektedir ancak karar verme yetenekleri kısıtlıdır. Günümüz bilgisayarlarının daha iyi analizler yapıp tahminlerde bulunabilmeleri için çeşitli makine öğrenmesi teknikleri geliştirilmektedir. Bu teknikler bilgisayarların karar verme güçlerini arttırmakta ve farklı sahalarda uzmanlara destek sistemlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Makine öğrenmesi tekniklerinin, başarılı sınıflama ve tanılama yetenekleri ile hastalık teşhisinde medikal uzmanlara yardımcı olarak kullanımları hızla artmaktadır. Kanser teşhisinde de kullanımı hızla artan makine öğrenmesi ile başarılı çalışmalar yapılabilmektedir. Göğüs kanseri dünya genelinde en yaygın görülen ikinci kanser türü olup kadınlar arasında kanser kaynaklı en yüksek oranda ölüme sebep olan hastalıktır. Diğer tüm kanser türlerinde olduğu gibi göğüs kanserinin de erken teşhisi ölüm oranını azaltmada kritik bir öneme sahiptir. Göğüs kanseri tanısı, test sonuçların yorumlanarak teşhis edilmesi uzman insan bilgisine ihtiyaç duymaktadır ancak gelişen makine öğrenmesi teknikleri ile göğüs kanseri teşhisinde başarılı çalışmalar yürütülmektedir. Makine öğrenmesi bilgisayarların mevcut verilerden öğrenerek karmaşık ve büyük veri setleri içerisindeki desenleri hızlı bir şekilde tespit etmesini sağlayan bir yapay zekâ dalıdır. Bu yeteneğinden dolayı makine öğrenmesi kanser tanı ve teşhisinde özellikle göğüs kanseri konusunda da yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışmada her biri 30 adet özellik içeren ve 569 örnekten oluşan Wisconsin Üniversitesi göğüs kanseri veri seti, beş farklı makine öğrenmesi tekniği ile sınıflandırılmıştır. Veriler rastgele olarak eğitim ve test setlerine ayrılmıştır. Destek vektör makinesi, Naïve Bayes, rastgele orman, K en yakın komşu ve lojistik regresyon metotları ile gerçekleştirilen eğitim sürecinin ardından confusion matrisleri ve roc eğrileri oluşturulmuştur. Her bir tekniğin başarısı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucunda lojistik regresyonun %98.24 doğruluk ile en başarılı yöntem olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Göğüs kanseri, Makine öğrenmesi, Yapay zekâ

Performance Comparison of Different Machine Learning Techniques in Diagnosis of Breast Cancer

Abstract

Computers are able to process faster than people, but their ability to make decisions is limited. Various machine learning techniques are being developed for today's computers to make better analyzes and predictions. These techniques increase the decision-making power of computers and enable the development of support systems for experts in different fields. Machine learning techniques are being used rapidly to assist medical specialists in diagnosing diseases with their successful classification and diagnostic capabilities. Successful work can be done with machine learning, which is rapidly increasing in the use of cancer diagnosis. Breast cancer is the second most common type of cancer in the world and is the most common cancer related cause of death among women. As with all other types of cancer, early diagnosis of breast cancer is critical in reducing the mortality rate. Diagnosis of breast cancer, diagnosis and interpretation of test results require specialized human knowledge, but successful studies are being carried out in the diagnosis of breast cancer by developing machine learning techniques. Machine learning is an artificial intelligence branch that allows computers to quickly identify

* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8933-8395, onursevli@mehmetakif.edu.tr

patterns within complex and large data sets by learning from existing data. Due to this ability, machine learning is widely used in diagnosis of cancer, especially in breast cancer. In this study, the University of Wisconsin breast cancer data set, which consists of 569 samples, each with 30 features, was classified by five different machine learning techniques. Data was randomly splitted as training and test set. After the training process of Support Vector Machine, Naïve Bayes, Random Forest, K-Nearest Neighbour and Logistic Regression methods, confusion matrices and roc curves were created and the success of each method has been compared. As a result of this comparison, it has been shown that Logistic Regression is the most successful model with 98.24% accuracy.

Keywords: Breast cancer, Machine learning, Artificial Intelligence

1. Giriş

Günümüz bilgisayarları insana nazaran daha hızlı işlem yapabilmektedir ancak karar verme yetenekleri insana göre daha düşüktür. Bu nedenle bilgisayarların daha iyi analizler yapıp kararlar verebilmelerini sağlayan farklı makine öğrenmesi teknikleri geliştirilmiş ve geliştirilmektedir. Kümeleme, sınıflama yöntemleri, karar ağaçları, yapay sinir ağları gibi pek çok teknik ile veriden anlam çıkarımı ve tahminleme yapılabilmektedir [1]. Makine öğrenmesi tekniklerinin, başarılı sınıflama ve tanılama yetenekleri ile hastalık teşhisinde medikal uzmanlara yardımcı olarak kullanımları da hızla artmaktadır.

Göğüs kanseri özellikle 40 – 49 yaş arası kadınlarda sıklıkla görülen ve dünya genelinde kadınlar arasında kanser kaynaklı en yüksek oranda ölüme sebep olan hastalıktır [2]. 2018 yılında tüm dünyada tespit edilen 18.1 milyon kanser vakası içerisinde %11.6 oranla akciğer kanserinden sonra ikinci sırada yer almaktadır [3]. Göğüs dokusunda özellikle süt kanalları ve bezlerinde küçük tümör ya da kitleler şeklinde görülür. Kitlenin pürüzsüz olması ve sınırlarının belli olması iyi huylu olduğuna, sınırlarının düzensiz olması ve pürüzlü yapıda olması kötü huylu yani kanser riski taşımasına işaretir [4]. Diğer tüm kanser türlerinde olduğu gibi göğüs kanserinin de erken teşhisi ölüm oranını azaltmada kritik bir öneme sahiptir [5]. Göğüs kanseri tanısı, test sonuçların yorumlanarak teşhis edilmesi uzman insan bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Gelişen makine öğrenmesi teknikleri ile göğüs kanseri teşhisinde başarılı çalışmalar yürütülmektedir.

Makine öğrenmesi içerisinde çeşitli istatistiki, olasılıksal teknikleri ve optimizasyon tekniklerini barındıran; bilgisayarların mevcut verilerden öğrenerek karmaşık ve büyük veri setleri içerisindeki desenleri hızlı bir şekilde tespit etmesini sağlayan bir yapay zeka dalıdır. Bu yeteneğinden dolayı makine öğrenmesi kanser tanı ve teşhisinde de yaygın kullanım alanı bulmaktadır [6].

Göğüs kanserine dair her yıl yaklaşık olarak 1.38 milyon yeni vaka görülmektedir [7]. Makine öğrenmesi tekniklerinin klinik alanda özellikle kanser teşhisine yönelik kullanımı giderek artarken [8] göğüs kanserinin tespitini kolaylaştırmaya yönelik olarak yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Göğüs kanseri teşhisinde farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmakla birlikte yaygın olarak kümeleme [9 – 11], yapay sinir ağları [12 – 14], destek vektör makineleri [15 – 17], bulanık ve yapay bulanık mantık [18 – 19] ve hibrit teknikler kullanılmaktadır.

Ravdin ve Clark düşük ve yüksek risk taşıyan göğüs kanseri hastalarının tespitine yönelik bir yapay sinir ağı modeli ortaya koymuşlardır [20]. Mangasarian vd. ise kötü huylu tümörler için tekrarlamayan vakaları, tekrarlayan vakalar için ise tekrarlama zamanlarını tahmin etmeye yönelik doğrusal programlama tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir [21]. Ravi ve Zimmermann tümör veri seti üzerinde geliştirdikleri üç fazlı bulanık veri işleme modelinde önce özellik uzayında boyut indirgeme yoluna gitmiş, ardından bulanık kuralları otomatik olarak oluşturup daha az kuralla daha yüksek bir sınıflama gücü elde etmişlerdir [22]. Delen vd. geniş bir göğüs kanseri veri seti üzerinde iki popüler veri madenciliği algoritması olan yapay sinir ağları ve karar ağaçlarını kullanarak tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Karar ağaçları ile %93.6, yapay sinir ağı modeli ile %91.2 doğruluk elde etmişlerdir [23]. Polat ve Güneş, En küçük kare destek vektör makinesi (LS-SVM) sınıflama algoritması kullanarak göğüs kanseri verileri üzerinde %98 oranında başarı elde etmişlerdir [24]. Khan vd. geliştirdikleri bulanık karar ağaçları ile göğüs kanseri verilerini sınıflamış ve bağımsız sınıflayıcılara göre daha başarılı olduklarını ortaya koymuşlardır [25].

Chauhan vd. yapay sinir ağlarında parametre ayarlamaları için diferansiyel evrim modeli kullanarak gerçekleştirdikleri sistemi, göğüs kanseri veri seti dâhil üç farklı veri seti ile test ederek, geleneksel yapay sinir ağı modelinden daha başarılı olduğunu ortaya koymuşlardır [26]. Karabatak ve İnce, ilişki kuralları ile yapay sinir ağlarını birleştirerek ürettikleri hibrit model ile göğüs kanseri verilerini sınıflamışlar ve modellerinin %95.6 oranda doğru sınıflama yaptığını ortaya koymuşlardır [27]. Powel vd. Kaliforniya’da yaşayan ve içerisinde yüksek oranda göğüs kanseri olan, hiç doğum yapmamış ve geç doğum yapmış kadınlara ait veriler içeren veri seti ile Breast Cancer Risk Assessment Tool (BCRAT) [28], International Breast Intervention Study (IBIS) [29] ve BRCAPRO [30] göğüs kanseri risk değerlendirme modellerini 5 yıl boyunca yaptıkları uygulamalarla karşılaştırmışlardır ve performanlarını test etmişlerdir.[31].

Papageorgiou vd. çalışmalarında Fuzzy Cognitive Map (FCM) kullanarak geliştirdikleri bir sağlık asistanı ile 40 adet hastanın verilerini işleyerek %95 oranında doğruluk elde etmişlerdir [4]. Kolay ve Erdoğan çalışmalarında göğüs kanseri veri setini herhangi bir ön işleme yapmadan, Matlab ve Weka programları üzerinde K-means yöntemi ile sınıflandırmış ve çeşitli parametre değişimleri ile %45 ile %79 arasında değişen başarılar elde etmişlerdir [1]. Alharbi ve Tchier, yaptıkları çalışmada bulanık mantık ve evrimsel genetik algoritma tabanlı göğüs kanserinin erken teşhisine yardımcı olan bir sistem geliştirerek Suudi Arabistan göğüs kanseri teşhis veri tabanı üzerinde uygulamışlardır. Bulanık-genetik hibrit algoritma ile %97 doğruluk ve %91 güvenilirlik elde etmişlerdir [32]. Akyol, 2018

yılında yaptığı çalışmada Özyinelemeli Özelik Eleme yöntemi ile meme kanseri veri seti üzerinde öznelik tespiti yapıp rastgele orman yöntemini uygulayarak sınıflama yapmış ve %98 başarı elde etmiştir [33].

Bu çalışmada her biri 30 adet özellik içeren 569 göğüs kanseri veri örneği, 5 ayrı makine öğrenmesi tekniği ile sınıflandırılarak, modellerin başarıları karşılaştırılmıştır. Sonraki bölümlerde materyal ve metot, bulgular ve sonuçlar yer almaktadır.

2. Materyal ve Metot

Kanser, hücrelerin kontrolsüz olarak bölünmesi ile ortaya çıkar ve tümör olarak anılan kitleler oluşturur. Tümörler iyi huylu (benign) ve kötü huylu (malignant) olabilir. Kötü huylu tümörler hızla büyüyerek etrafındaki dokuları işgal eder ve zarar görmelerine neden olur. Göğüs dokusundaki anormallikler, göğüs şekli ve deri rengindeki değişimler göğüs kanseri habercisi olabilir. Tüm kanser türlerinde olduğu gibi göğüs kanserinde de erken teşhis hayati önem taşımaktadır.

Bu çalışmada Wisconsin Üniversitesi hastanesinde Dr. William H. Wolberg tarafından toplanan ve araştırmalar için paylaşılan, göğüs kanseri bulgularını içeren 569 örnekten oluşan veri seti kullanılmıştır. Veriler %80 eğitim seti, %20 test seti olacak şekilde rastgele bölünerek beş farklı makine öğrenmesi modeli ile sınıflanarak test edilmiştir. Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine – SVM), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (Random Forest – RF), K En yakın Komşu (K Nearest Neighbor – KNN) ve Lojistik Regresyon (Logistic Regression – LR) sınıflayıcılarının test başarıları karşılaştırılmıştır. Modellerin oluşturulması ve test işlemleri Python programlama dili ile gerçekleştirilmiştir.

2.1. Veri Seti

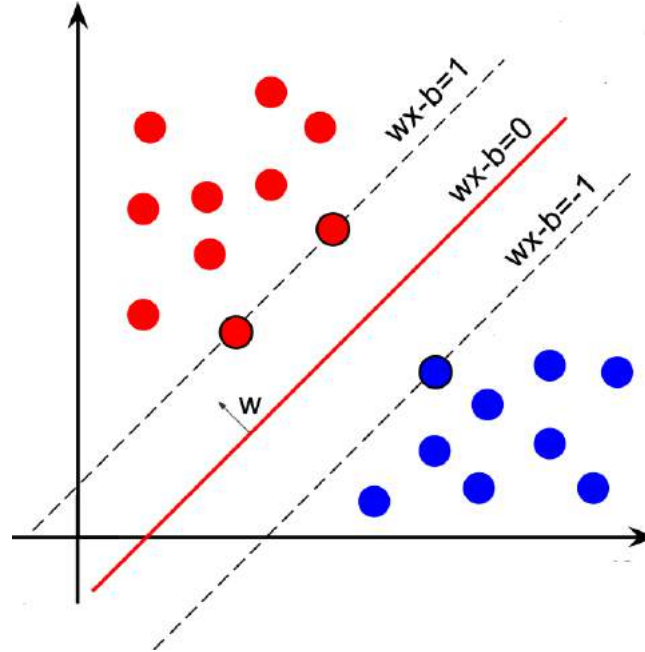
Kullanılan veri seti 569 adet örnek içermektedir. Her bir veri örneği için 30 tanımlayıcı özellik ve bir adet teşhis sınıfı olmak üzere toplam 31 özellik bulunmaktadır. 30 adet tanımlayıcı özellik, göğüste görülen kitle resimlerinin sayısallaştırılması ile elde edilen dokunun çapı, şekli, pürüzsüzlüğü, yüzey alanı gibi verilerden oluşmaktadır. 30 adet özelliğin 10 tanesi tümör hücresinin çekirdeği üzerinden direkt olarak ölçümlenmiş, 20 tanesi ise bunlara bağlı olarak hesaplanmış sayısal değerlerdir. Direkt ölçümlenen 10 adet özellik ise şunlardır:

- 1) Yarıçap
- 2) Doku
- 3) Çap
- 4) Alan
- 5) Pürüzsüzlük
- 6) Yoğunluk
- 7) İçbükeylik
- 8) İçbükey nokta sayısı
- 9) Simetri
- 10) Fraktal boyut

Diğer özellikler ise bu özelliklerden türetilen ortalama, standart hata, en kötü ve en büyük değerlerden oluşmaktadır. Bu değerlere bağlı olarak, tümörün iyi huylu veya kötü huylu olduğunu belirten B (benign) ve M (malignant) etiketi ile ifade edilen teşhis sınıfı yer almaktadır. 569 verinin sınıf dağılımı ise 357 iyi huylu, 212 kötü huylu şeklindedir.

2.2. Destek Vektör Makinesi

Destek vektör makinesi, 1990'lı yıllarda Vapnik ve ekibi tarafından geliştirilen, iki temel sınıfa ait olan verileri birbirinden ayırmak için kullanılan, istatistiksel öğrenme teorisine dayalı, sınıflandırma ve regresyon işlemleri için kullanılabilen gözetimli makine öğrenmesi algoritmasıdır [34]. Eğitim verilerinin yer aldığı düzlemde iki sınıfın üyelerinden en uzak olacak şekilde bir karar sınırının çizilmesini sağlar (Şekil 1).



Şekil 1. Destek Vektör Makinesi

Verinin her bir noktası Eş. 1 'de verilen şekilde tanımlanır.

$$\{ (x_i, y_i) \mid x_i \in \mathbb{R}^d, y_i \in \{-1, 1\} \}_{i=1}^n \quad (1)$$

Formülde x bir girdiyi, y ise -1 ve 1 ile temsil edilen bir sınıfı belirtir. Düzlemde her bir nokta $wx-b$ şeklinde ifade edilir. Burada w düzleme dik olan normal vektörü, b ise kayma miktarıdır. Destek vektör makinesi, karesel optimizasyon yöntemi ile ayırma sınırının bulunmasını sağlar [15].

2.3. Naive Bayes

Naive Bayes sınıflayıcı, İngiliz matematikçi Thomas Bayes'in Eş. 2'de gösterilen teoremine dayanır [35].

$$P(G|X) = \frac{P(X|G) P(G)}{P(X)} \quad (2)$$

Formülde $P(G|X)$, G olayının verilen X olayına göre olma olasılığıdır. $P(X|G)$ ise X olayının G olayı gerçekleştiğinde olma olasılığıdır. $P(G)$ ve $P(X)$ ise G ve X olaylarının önsel olasılıklarıdır.

2.4. Rastgele Orman

Rastgele orman, 2001 yılında Leo Breiman tarafından ortaya atılan bir yaklaşımdır [36]. Birden çok karar ağacının birleşiminden oluşan bir modeldir. Veriler N adet karar ağacı üzerinde işlendikten sonra elde edilen tahminlerin ortalaması alınarak doğru bir tahmin üretilmeye çalışılır. Rastgele orman geleneksel karar ağaçlarında en çok karşılaşılan problemlerden biri olan aşırı uydurma (overfitting) sorununu hem veri seti, hem öznelikleri çok sayıda parçaya bölüp birden çok ağaç üzerinde işleyerek çözer.

2.5. K En Yakın Komşu

Sınıfı belirlenmek istenen bir noktanın, daha önceden sınıflanmış olan noktalardan, belirlenen K sayısınca en yakın noktaya göre sınıfının tespit edilmesini sağlayan bir modeldir. En yakın noktalar hesaplanırken genelde öklit uzaklığına bakılır. İdeal K değerinin seçimi üzerinde çalışılan veriye bağlı olarak değişiklik gösterir. Büyük K değerleri sınıflamadaki gürültü etkisini azaltırken, sınıflar arasındaki sınırların ayırımı azaltır.

2.6. Lojistik Regresyon

Lojistik regresyon bağımlı değişkenin süreksiz olduğu ikili sınıflama (0 ve 1) durumunda kullanılan bir modeldir. Makine öğrenmesi alanı dışında, diğer uygulamalı bilimlerde, gerçek dünya problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [37]. Lojistik regresyon ikili (binary) bir bağımlı değişken ile bir dizi bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik tahminleyici bir analizdir. Bir $a+bx$ denklemi için bir olayın gerçekleşme olasılığı Eş. 3'teki gibidir.

$$p = \frac{e^{a+bx}}{1+e^{a+bx}} \quad (3)$$

Olayın gerçekleşme olasılığı da ise $1-p$ olmak üzere logit fonksiyonu Eş. 4'te verilmiştir:

$$\text{logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad (4)$$

Logistik regresyon logit dönüşümünü tahminlemek için bir formülün katsayılarını üretir.

2.7. Performans Değerlendirme

Toplam 569 adet örnekten oluşan veri setinin %80'i eğitim, %20'si test için kullanılmış; bu ayırmada örneklerin seçimi ise rastgele yapılmıştır. Eğitim sürecinden sonra test verileri ile sınıflama başarısı kontrol edilmiştir. Sistemin ürettiği sınıflar ile test sınıfları karşılaştırıldığında ne kadarlık kısmın doğru tahmin edildiği sistemin genel sınıflandırma doğruluğunu gösterir. Bu durum Eş. 5'te gösterilmiştir. Detaya inildiğinde sınıflanan veri kümesinde dört muhtemel sonuç vardır: Aslı pozitif olan örnek pozitif olarak doğru sınıflandırıldığında doğru pozitif (true positive – TP), aslı pozitif olan örnek negatif olarak yanlış sınıflandırıldığında yanlış negatif (false negative – FN), aslı negatif olan örnek negatif olarak doğru sınıflandırıldığında doğru negatif (true negative – TN), aslı negatif olan örnek pozitif olarak yanlış sınıflandırıldığında yanlış pozitif (false positive – FP) olarak nitelendirilir. Tüm bu olası durumların gösterildiği matrise confusion matrix adı verilir (Tablo 1).

Tablo 1. Confusion matrix

Tahmin edilen değerler	Gerçek değerler	
	Positive	Negative
Positive	True Positive (TP)	False Positive (FP)
Negative	False Negative (FN)	True Negative (TN)

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (5)$$

Doğru pozitif değerlerin, doğru pozitif ve yanlış negatiflerin toplamına oranı duyarlılık (sensitivity) değerini verir (Eş. 6). Duyarlılık sınıflandırmanın doğru pozitifleri tespit etme kabiliyetini gösterir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

Doğru negatif değerlerin, yanlış pozitif ve doğru negatiflerin toplamına oranı belirleyicilik (specificity) değerini verir (Eş. 7). Bir sınıflandırmanın gerçek negatif oranını yani negatif olan bir sonuca negatif teşhis koyma oranını gösterir.

$$\text{Belirleyicilik} = \frac{TN}{FP+TN} \quad (7)$$

Doğru pozitif değerlerin, doğru pozitif ve yanlış pozitiflerin toplamına oranı kesinlik değerini verir (Eş. 8). Kesinlik sınıflandırmanın yanlış pozitifleri eleme kabiliyetini gösterir.

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (8)$$

Sınıflandırıcı performansını test etmek için ROC (receiver operating characteristic – alıcı işlem karakteristiği) eğrilerinden yararlanılır. ROC eğriyi duyarlılığın kesinliğe oranı ile ortaya çıkmaktadır. Sınıflandırma yöntemleri duyarlılık ile kesinlik arasında dengeyi sağlamaya çalışır. ROC eğrileri duyarlılık ve kesinlik arasındaki dengeyi değerlendirmek için kullanılır. ROC eğrileri ayırt ediciliği göstermekle birlikte, farklı testlerin performans karşılaştırmasında eğri altında kalan alana (AUC – area under curve) ihtiyaç duyulur. ROC eğrisi altında kalan alanın değeri ROC puanını verir ve bu değer 1'e yaklaşması pozitiflerin negatiflerden başarılı bir şekilde ayrıldığı anlamına gelir.

3. Bulgular

Göğüs kanseri bulgularını içeren veri seti, toplam 569 adet örneğin %20'sini oluşturan 114 örnek ile Destek vektör makinesi (SVM), Naive bayes (NB), Rastgele orman (RF), K-en yakın komşu (KNN) ve Lojistik regresyon (LR) modelleri ile ayrı ayrı sınıflandırılmıştır. Her bir model için confusion matrix oluşturulmuş, doğruluk, duyarlılık, belirleyicilik, kesinlik değerleri belirlenmiş ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Modellerin sınıflandırma başarıları (Classification achievements of models)

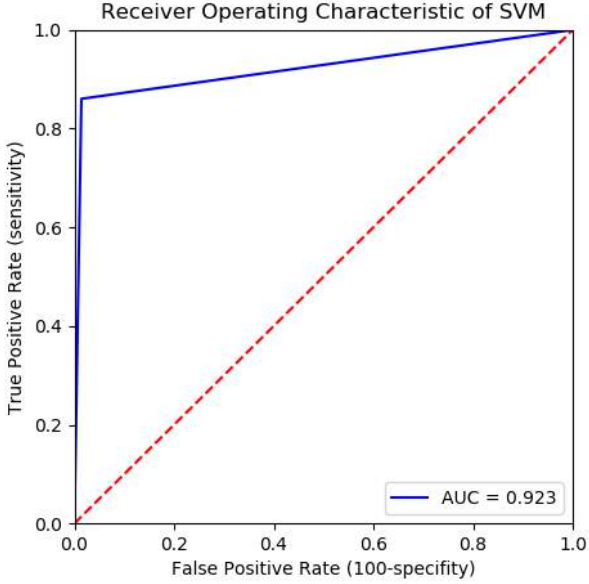
Model	TP	FN	TN	FP	Doğruluk	Duyarlılık	Belirleyicilik	Kesinlik
SVM	37	6	70	1	%93,86	%86,05	%98,59	%97,37
NB	37	6	71	0	%94,74	%86,05	%100	%100
RF	41	2	69	2	%96,49	%95,35	%97,18	%95,35
KNN	35	8	69	2	%91,23	%81,39	%97,18	%94,59
LR	41	2	71	0	%98,24	%95,35	%100	%100

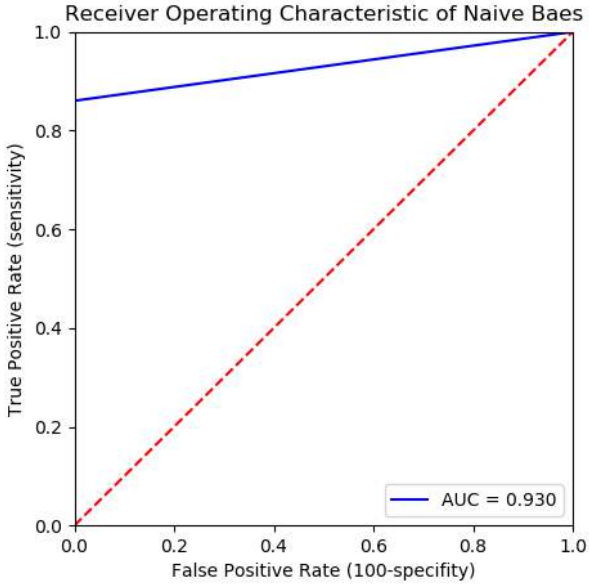
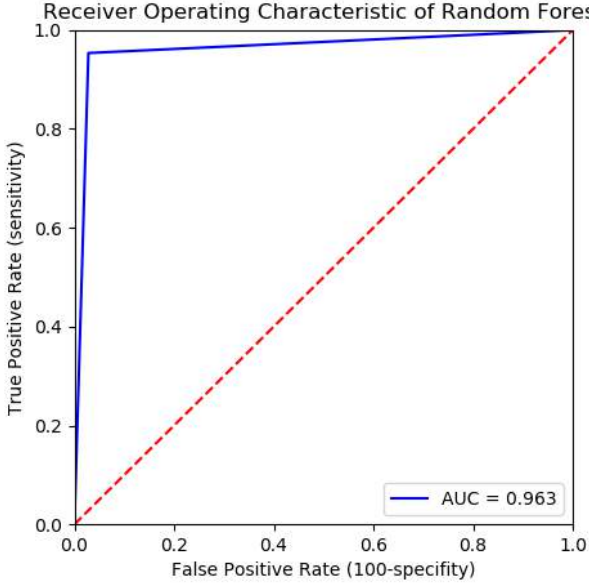
Tablo 2’de modellerin duyarlılıkları karşılaştırıldığında Rastgele orman ve Lojistik regresyon modellerinin doğru pozitifleri tespit etme oranlarının eşit ve diğer modellerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Destek vektör makinesi ve Naive bayes eşit oranda ve ikinci sırada, K en yakın komşu modeli ise en düşük orana sahiptir. Bunun yanında doğru negatifleri ayırt etme başarısında tüm modeller genel anlamda yüksek belirleyiciliğe sahip olup Naive bayes ve Lojistik regresyon modelleri %100 belirleyici orana sahiptir. Yanlış pozitifleri eleme oranında da yine Naive bayes ve Lojistik regresyon modelleri %100 kesinlik sağlamaktadır.

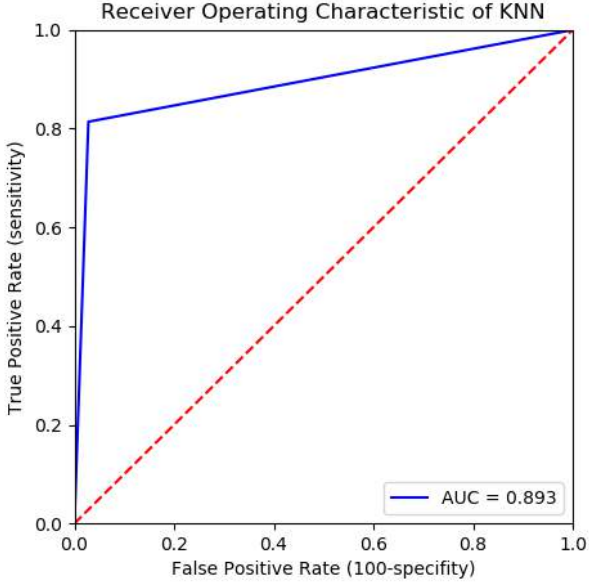
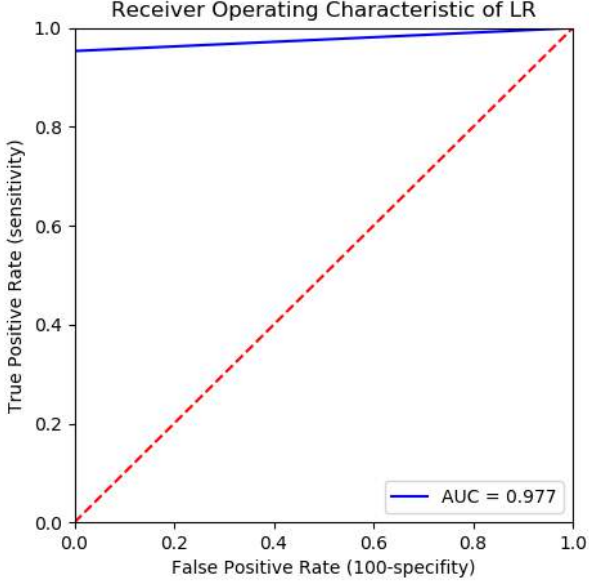
Tüm başarı kriterlerine bağlı olarak en yüksek doğruluğu sağlayan modelin Lojistik regresyon olduğu görülmektedir. Bunun ardından Rastgele orman, Naive bayes ve Destek vektör makinesi gelmektedir. En düşük doğruluğu veren ise K en yakın komşu modelidir.

Modellerin ROC eğrileri ve hesaplanan eğri altındaki alan (AUC) değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Model ROC eğrileri (Model ROC curves)

Model	ROC eğrisi	AUC
SVM		0,923

NB	 <p>Receiver Operating Characteristic of Naive Baes</p> <p>True Positive Rate (sensitivity)</p> <p>False Positive Rate (100-specificity)</p> <p>AUC = 0.930</p>	0,930
RF	 <p>Receiver Operating Characteristic of Random Forest</p> <p>True Positive Rate (sensitivity)</p> <p>False Positive Rate (100-specificity)</p> <p>AUC = 0.963</p>	0,963

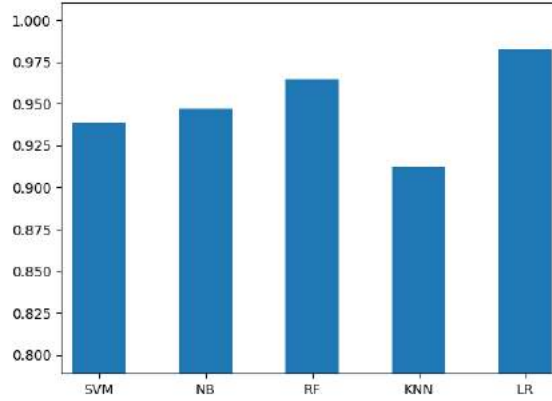
KNN	 <p>Receiver Operating Characteristic of KNN</p> <p>True Positive Rate (sensitivity)</p> <p>False Positive Rate (100-specificity)</p> <p>AUC = 0.893</p>	0,893
LR	 <p>Receiver Operating Characteristic of LR</p> <p>True Positive Rate (sensitivity)</p> <p>False Positive Rate (100-specificity)</p> <p>AUC = 0.977</p>	0,977

ROC eğrisinin sol üst köşeye yaklaşması, doğru pozitif oranının yüksek ve eğri altında kalan alanın fazla olduğunu gösterir. Buradan yola çıkarak pozitiflerin negatiflerden başarılı bir şekilde ayrılıp ayrılmadığı görülebilir. Tablo 3 incelendiğinde de Lojistik Regresyon (LR) modelinin 0.977 AUC değeri ile diğer modellere göre daha başarılı bir ayrım yaptığı görülmektedir.

4. Sonuç

Makine öğrenmesi pek çok farklı alanda olduğu gibi tıp alanında da yaygın bir şekilde kullanılmakta, hastalıkların teşhisinde destekleyici bir sistem rolü üstlenmektedir. Özellikle kanser teşhisi konusunda artan bir kullanıma sahiptir. Göğüs kanseri, tüm kanser türleri içerisinde en yaygın görülen ikinci kanser türü olup, doğru ve erken teşhis edilmediği takdirde ölümcül olabilmektedir. Bu nedenle göğüs kanseri teşhisinin doğru ve yüksek başarımlı olarak gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada Wisconsin Üniversitesi hastanesinde toplanan göğüs kanseri bulgularını içeren 569 adet örnekten oluşan veri seti, beş farklı makine öğrenmesi modeli ile sınıflandırılarak, modellerin başarıları karşılaştırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Modellerin başarı karşılaştırması

Destek Vektör Makinesi (SVM), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RF), K En yakın Komşu (KNN) ve Lojistik Regresyon (LR) modelleri kullanılarak yapılan sınıflandırmada veri setinin %20'lik kısmı (114 adet örnek) test için kullanılmış geriye kalan %80'lik kısım ile model eğitilmiştir. Test işlemi sonucunda en başarılı modelin %98,24 doğruluk oranıyla Lojistik regresyon olduğu ortaya konmuştur.

Makine öğrenmesi teknikleri ile bilgisayarlar insan uzmanların verdikleri bilgileri öğrenerek otonom kararlar üretme kabiliyetine kavuşmaktadır. Bu yolla uzmanlara destek birer sistem rolü üstlenmekte, öğrenme verileri artıp çeşitlendikçe daha başarılı sonuçlar üretebilmektedirler.

Kaynakça

- [1] Kolay, N., Erdoğmuş, P., The classification of breast cancer with Machine Learning Techniques. In Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT), 1-4, 2016.
- [2] Jemal, A., Siegel, R., Xu, J., Ward, E., Cancer statistics 2010, CA: a cancer journal for clinicians, 60(5), 277-300, 2010.
- [3] Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R. L., Torre, L. A., & Jemal, A., Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries, CA: a cancer journal for clinicians, 68(6), 394-424, 2018.
- [4] Papageorgiou, E. I., Jayashree Subramanian, Karmegam, A., & Papandrianos, N., A risk management model for familial breast cancer: A new application using Fuzzy Cognitive Map method, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 122(2), 123-135, 2015.
- [5] Tapak, L., Shirmohammadi-Khorram, N., Amini, P., Alafchi, B., Hamidi, O., & Poorolajal, J., Prediction of survival and metastasis in breast cancer patients using machine learning classifiers, Clinical Epidemiology and Global Health, 2018.
- [6] Cruz, J. A., Wishart, D. S., Applications of machine learning in cancer prediction and prognosis, Cancer informatics, 2, 2006.
- [7] Jemal, A., Bray, F., Center, M. M., Ferlay, J., Ward, E., Forman, D., Global cancer statistics, CA: a cancer journal for clinicians, 61(2), 69-90, 2011.
- [8] Kourou, K., Exarchos, T. P., Exarchos, K. P., Karamouzis, M. V., Fotiadis, D. I., Machine learning applications in cancer prognosis and prediction, Computational and structural biotechnology journal, 13, 8-17, 2015.
- [9] Thyagarajan, R., Murugavalli, S., Segmentation of Digital Breast Tomograms using clustering techniques, In India Conference (INDICON), 2012 Annual IEEE, 1090-1094, 2012.
- [10] Heriana, O., Soesanti, I., Tumor size classification of breast thermal image using fuzzy C-Means algorithm, In Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), 2015 International Conference on, 98-103, 2015.
- [11] Belciug, S., Salem, A. B., Gorunescu, F., Gorunescu, M., Clustering-based approach for detecting breast cancer recurrence, In Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2010 10th International Conference on, 533-538, 2010.
- [12] Abbosh, Y. M., Yahya, A. F., Abbosh, A., Neural networks for the detection and localization of breast cancer, In Communications and Information Technology (ICCIT), 2011 International Conference on, 156-159, 2011.
- [13] Isa, N. A. M., Hamid, N. H. A., Sakim, H. A. M., Mashor, M. Y., Zamli, K. Z., Intelligent classification system for cancer data based on artificial neural network, In Cybernetics and Intelligent Systems, 2004 IEEE Conference on, 196-201, 2004.
- [14] Pawar, P. S., Patil, D. R., Breast cancer detection using neural network models, In Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2013 International Conference on, 568-572, 2013.
- [15] Shen, L., Chen, H., Yu, Z., Kang, W., Zhang, B., Li, H., Liu, D., Evolving support vector machines using fruit fly optimization for medical data classification, Knowledge-Based Systems, 96, 61-75, 2016.

- [16] Banu, G. S., Fareeth, A., Hundewale, N., Prediction of breast cancer in mammogram image using support vector machine and fuzzy C-means, In Biomedical and Health Informatics (BHI), 2012 IEEE-EMBS International Conference on, 573-576, 2012.
- [17] Majid, A., Ali, S., Iqbal, M., Kausar, N., Prediction of human breast and colon cancers from imbalanced data using nearest neighbor and support vector machines, *Computer methods and programs in biomedicine*, 113(3), 792-808, 2014.
- [18] Ribeiro, A. C., Silva, D. P., Araujo, E., Fuzzy breast cancer risk assessment, In Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2014 IEEE International Conference on, 1083-1087, 2014.
- [19] Keleş, A., Keleş, A., Yavuz, U., Expert system based on neuro-fuzzy rules for diagnosis breast cancer, *Expert systems with applications*, 38(5), 5719-5726, 2011.
- [20] Ravdin, P. M., Clark, G. M., A practical application of neural network analysis for predicting outcome of individual breast cancer patients, *Breast cancer research and treatment*, 22(3), 285-293, 1992.
- [21] Mangasarian, O. L., Street, W. N., Wolberg, W. H., Breast cancer diagnosis and prognosis via linear programming, *Operations Research*, 43(4), 570-577, 1995.
- [22] Ravi, V., Zimmermann, H. J., Fuzzy rule based classification with FeatureSelector and modified threshold accepting, *European Journal of Operational Research*, 123(1), 16-28, 2000.
- [23] Delen, D., Walker, G., Kadam, A., Predicting breast cancer survivability: a comparison of three data mining methods. *Artificial intelligence in medicine*, 34(2), 113-127, 2005.
- [24] Polat, K., Güneş, S., Breast cancer diagnosis using least square support vector machine, *Digital signal processing*, 17(4), 694-701, 2007.
- [25] Khan, M. U., Choi, J. P., Shin, H., Kim, M., Predicting breast cancer survivability using fuzzy decision trees for personalized healthcare, In *Engineering in Medicine and Biology Society 30th Annual International Conference of the IEEE* , 5148-5151, 2008.
- [26] Chauhan, N., Ravi, V., Chandra, D. K., Differential evolution trained wavelet neural networks: Application to bankruptcy prediction in banks, *Expert Systems with Applications*, 36(4), 7659-7665, 2009.
- [27] Karabatak, M., Ince, M. C., An expert system for detection of breast cancer based on association rules and neural network, *Expert systems with Applications*, 36(2), 3465-3469, 2009.
- [28] Costantino, J. P., Gail, M. H., Pee, D., Anderson, S., Redmond, C. K., Benichou, J., Wieand, H. S., Validation studies for models projecting the risk of invasive and total breast cancer incidence, *Journal of the National Cancer Institute*, 91(18), 1541-1548, 1999.
- [29] Tyrer, J., Duffy, S. W., Cuzick, J., A breast cancer prediction model incorporating familial and personal risk factors, *Statistics in medicine*, 23(7), 1111-1130, 2004.
- [30] Parmigiani, G., Berry, D. A., Aguilar, O., Determining carrier probabilities for breast cancer-susceptibility genes BRCA1 and BRCA2, *The American Journal of Human Genetics*, 62(1), 145-158, 1998.
- [31] Powell, M., Jamshidian, F., Cheyne, K., Nititham, J., Prebil, L. A., Ereman, R., Assessing breast cancer risk models in Marin County, a population with high rates of delayed childbirth, *Clinical breast cancer*, 14(3), 212-220, 2014.
- [32] Alharbi, A., Tchier, F., Using a genetic-fuzzy algorithm as a computer aided diagnosis tool on Saudi Arabian breast cancer database, *Mathematical biosciences*, 286, 39-48, 2017.
- [33] AKYOL, K., Meme Kanseri Tanısı İçin Özniteliklerin Öneminin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(2), 109-115, 2018.
- [34] Cortes, C., Vapnik, V., Support-vector networks, *Machine learning*, 20(3), 273-297, 1995.
- [35] Wood, A., Shpilrain, V., Najarian, K., Kahrobaei, D., Private naive bayes classification of personal biomedical data: Application in cancer data analysis. *Computers in biology and medicine*, 105, 144-150, 2019.
- [36] Breiman, L., Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32, 2001.
- [37] Yang, Y., Loog, M., A benchmark and comparison of active learning for logistic regression, *Pattern Recognition*, 83, 401-415, 2018.



The Effect of Temperature on the Emissions of Shale Gas Combustion in USA

Suat Ozturk^{1*}

¹ Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak Vocational School, Department of Electronic and Automation, Zonguldak, Turkey (ORCID: 0000-0002-8147-9943)

(First received 3 February 2019 and in final form 9 May 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.521589)

ATIF/REFERENCE: Ozturk, S. (2019). The Effect of Temperature on the Emissions of Shale Gas Combustion in USA. *European Journal of Science and Technology*, (16), 186-193.

Abstract

The turbulent, non-adiabatic, and non-premixed combustion of shale gas and air in a cylindrical combustor is computationally investigated under the effects of equivalence ratio, wall temperature, fuel and oxide inlet temperatures. The results indicate that the mass fractions of NO come to the maximum values at 0.97, 1.03, and 1.03 equivalence ratios for Fayetteville, New Albany, and Haynesville. The rising equivalence ratio raises CO emissions for all the shale gas. The rearing oxide inlet temperature increases NO mass fractions up to 290 K for Fayetteville and 308 K for New Albany and Haynesville. It also enhances CO emissions. The escalating fuel inlet temperature boosts NO mass fractions. However, it reduces CO emissions at all the shale gas combustion. The ascending wall temperature uplifts both NO and CO mass fractions.

Keywords: Shale gas, Non-premixed combustion, Nitrogen oxide, Carbon monoxide.

ABD’de Kaya Gazı Yanmasının Emisyonları Üzerinde Sıcaklığın Etkisi

Öz

Silindirik bir yakıcıda kaya gazı ve havanın türbülanslı, adyabatik olmayan ve önkarişimsız yanması ekivalans oranı, duvar sıcaklığı, yakıt ve oksit giriş sıcaklıklarının etkileri altında hesaplamalı olarak incelenmiştir. Sonuçlar NO’in kütle kesitlerinin Fayetteville, New Albany ve Haynesville için 0.97, 1.03 ve 1.03 ekivalans oranlarında maksimum değerlerine ulaştığını göstermektedir. Artan ekivalans oranı tüm kaya gazları için CO emisyonlarını yükseltmektedir. Yükselen oksit giriş sıcaklığı Fayetteville için 290 K ve New Albany ve Haynesville için 308 K’e kadar NO kütle kesitlerini artırmaktadır. CO emisyonlarını da yükseltmektedir. Artan yakıt giriş sıcaklığı NO kütle kesitlerini artırmaktadır. Bununla birlikte, tüm kaya gazları yanmalarında CO emisyonlarını düşürmektedir. Artan duvar sıcaklığı hem NO hem de CO kütle kesitlerini yükseltmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kaya gazı, ön karışimsız yanma, nitrojen oksit, karbon monoksit.

1. Introduction

* Corresponding Author: Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak Vocational School, Department of Electronic and Automation, Zonguldak, Turkey, ORCID: 0000-0002-8147-9943, suatozturk@beun.edu.tr

The expectations of high living standard, growing population, developing technologies, the usage of unproductive power consuming devices, the transformation in energy structure, regional conflicts, and the competition among countries raise energy need and strongly lead countries to search new energy sources. Moreover, the demand for electricity gradually rises because of electrical based services as transporting, heating and cooling, cooking, lighting, sanitation, information and communication [1]. The intensive energy producing systems mostly use coal, gas, nuclear materials, and hydraulic potential. However, the environmental reasons have forced countries to recede from coal and nuclear plants and put gas forward in the last decays [2].

There are different gas types as natural gas, shale gas, and synthesis gas (syngas). Natural and shale gases are extracted from the underground and shale rocks. Synthesis gas is produced from organic and inorganic sources as coal, tire, urban waste, biomass, and etc. Shale gas as un-conventional natural gas can decrease greenhouse gas emissions by low carbon energy. It also has a long mining life and production cycle compared with conventional natural gas. The reserve of shale gas in the world is plenty with 214.5 trillion cubic meters and 1.4 times of natural gas [2, 3].

The gas production from shale gas reservoirs with low matrix permeability, organic-rich deposition, and mineral-filled nature fracture clusters have begun to become crucial in the world energy supply in the last few years [4]. It is firstly extracted and commercialized with horizontal drilling and hydraulic fracturing methods by United States followed by China, India, Poland, South Africa, Australia, UK, and Ukraine. The largest shale gas resource of the world belongs to China planning the shale gas production of 80-100 billion m³/year by 2020. Nevertheless, the extraction of shale gas by hydraulic fracturing causes the pollution of water, greenhouse gas emission by fugitive methane, hazardous health problems, and even earthquakes [5].

The method used for the energy production from any type of gases is the combustion process. Gas (fuel) and air (oxide) can be burned in a combustor as premixed, partially premixed, non-premixed, and etc. The heat energy emerged at the end of the combustion is converted to mechanic work or electricity energy in today's system. The combustion process also emits hazardous emissions to the environment as nitrogen oxides (NO_x), carbon monoxide (CO), sulfur oxides (SO_x), hydrocarbons (HC), volatile organic compounds (VOCs), ozone (O₃), soot and other particles except for carbon dioxide (CO₂) and water vapor (H₂O) because of generally incomplete combustion, high reaction temperature, fuel and oxide compounds. The detrimental emissions for the gas combustion are mostly seen as NO_x and CO. NO_x is composed by mainly NO and NO₂ and is responsible for respiratory system illness, smog and acid rains. CO as toxic gas causes mortal poisoning. CO and NO_x emissions of USA in 2017 are reported as 60109 and 10776 in thousands of tons [6-13].

NO_x emerges in three different ways as thermal, prompt, and fuel during combustion. Thermal NO_x arises at high temperature above 1300 °C with the oxidization of oxygen and nitrogen defined by Zeldovich mechanism. Prompt NO_x produces in that the formation rate of NO_x surpasses the oxidization rate of oxygen and nitrogen in the thermal way. Fuel NO_x occurs from nitrogen in fuel depending on temperature, nitrogen onset concentration in fuel and air, and stoichiometric ratio. CO forms from the reaction of carbon and oxygen during the incomplete combustion [12]. Non-premixed combustion examined in this study stands for the case in that fuel and oxide enter to a burner from separated ways and the oxidization process occurs by contacting and mixing of fuel and oxide at the inside of burner. Oxide can be oxygen or air.

The combustion phenomena for various types of gases are both numerically and experimentally investigated under different conditions as turbulent, laminar, adiabatic, non-premixed, premixed, and etc. for different types of combustors. It is seen that the studies of shale gas generally focus on the emissions and environmental effects of the extracting process of it. There is a gap for the combustion process, characteristics, and emissions of shale gas in the literature. Ozturk detected that increasing inlet pressure raise NO_x, ascending humidity ratio reduces NO_x, and rising flow rate decreases NO_x for non-premixed shale gas combustion [12]. Cohen and Winkler determined shale gas to have lower greenhouse gas emissions than coal in the electricity generation [14]. Vargas et al. concluded the shale gas 3 (58% CH₄ - 20% C₂H₆ - 12% C₃H₈ - 10% CO₂) has higher laminar burning velocity than shale gas 1 and 2 [15]. Gebhardt indicated the compound of Polish shale gas is probable for usage by comparing to American gases [16].

In this study, NO and CO emissions of turbulent, non-premixed and non-adiabatic combustion of shale gas in a cylindrical combustor are numerically investigated at different wall temperature, fuel and oxide inlet temperatures, and equivalence ratios by ANSYS software.

2. Materials and Methods

The combustion process including the cases of thermo dynamics, heat and mass transfer, radiation, chemical kinetics, fluid mechanics is both numerically and experimentally studied. Numerical method is preferred more by researchers for the combustion phenomenon because it is easier to handle, cheaper, and consumes less time. The computational fluid dynamics (CFD) is a finite volume method solving numerically the problems of fluid mechanics, various reactions, heat and mass transfer, combustion, and etc. It can be used for the numerical calculations of rates, reactions, flame, temperatures, mass and mole fractions, products or emissions during the combustion of fuel and oxide in a burner.

Fluid Flow (Fluent) in ANSYS as a CFD software utilized in this study analysis and solves the equations of the problem defined by mathematical models under the determined boundary conditions, solution methods and controls on the meshed geometry of a system. The calculations of non-premixed combustion for simplification and faster solutions are carried out on a 2D model of the cylindrical combustor. The mesh of 2D field of the combustor consists of 12261 nodes and 12000 elements. The meshed combustion field is illustrated in Fig. 1 [12].

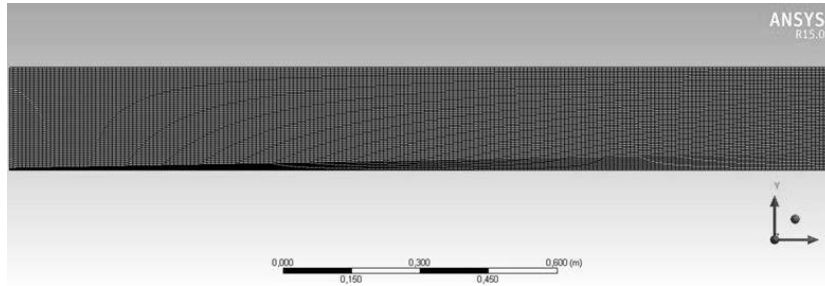


Fig. 1. The meshed combustion field of the combustor

The dimensions of the combustor, the wall temperature, and the inlet flow rates and temperatures of shale gas and air are depicted in Fig. 2. If it is not given any different condition in the text, the wall temperature of the combustor is 300 K, the pressure is 1 Atm, the equivalence ratio (ER) of fuel/air is 1 respectively.

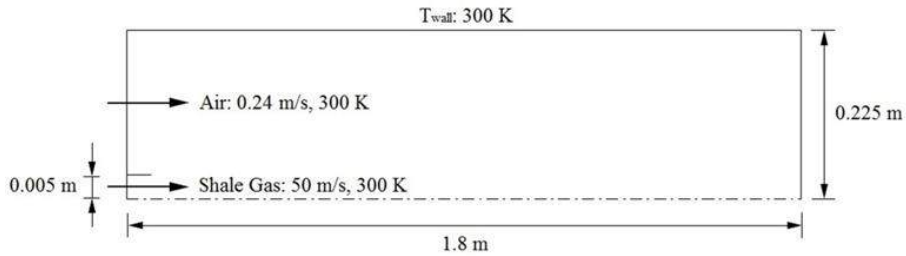


Fig. 2. The inlet temperatures and rates of fuel and oxide for the cylindrical combustor [12]

Shale gases used as fuel in the calculations are extracted from several field sources of Fayetteville, New Albany, and Haynesville regions of USA. The average values of the gas compositions of the fields are given in Table 1.

Table 1. The shale gas compositions used in the numerical calculations [17]

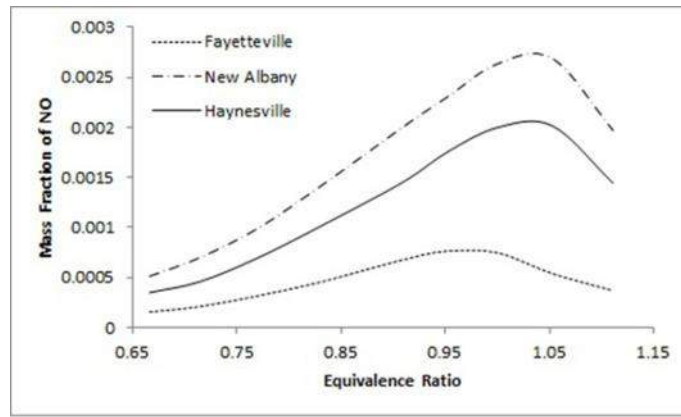
Regions	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	N ₂
Fayetteville	97.3	1	0	1	0.7
New Albany	89.875	1.125	1.125	7.875	0
Haynesville	95	0.1	0	4.8	0.1

The following models and properties for the solutions are adjusted in the setup: Energy – On, Viscous Model – k-epsilon (2 eqn), k-epsilon model – standard, Near-Wall Treatment – Standard Wall Functions, Radiation Model – P1, Species Model – Non-Premixed Combustion (Inlet Diffusion, Chemical Equilibrium, Non-Adiabatic are selected), NO_x Model – On (Thermal, Prompt and N2O Intermediate are selected). Fuel (shale gas) and Oxide (air) ratios and flow rates for the complete combustion and other cases of non-premixed are separately entered in the section of Fuel and Oxide at Boundary tab of PDF Table.

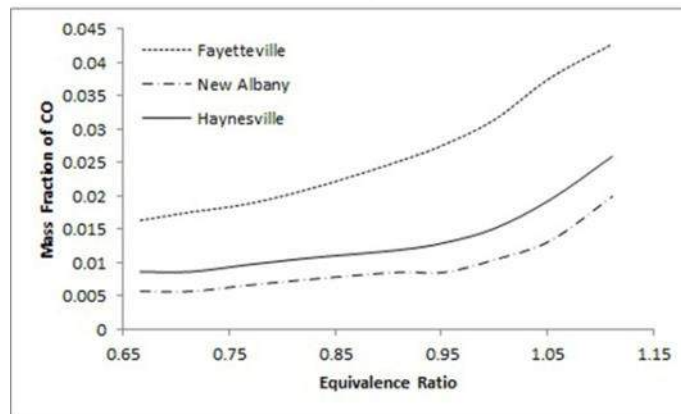
The mass fraction of NO_x is evaluated in the terms of the mass fraction of NO at the outlet of the combustor in this study. Furthermore, NO can be used in the place of NO_x that is the sum of mass fractions of NO and NO₂ because there is mostly a difference of 10⁻³ between NO and NO₂ mass fractions.

3. Results and Discussion

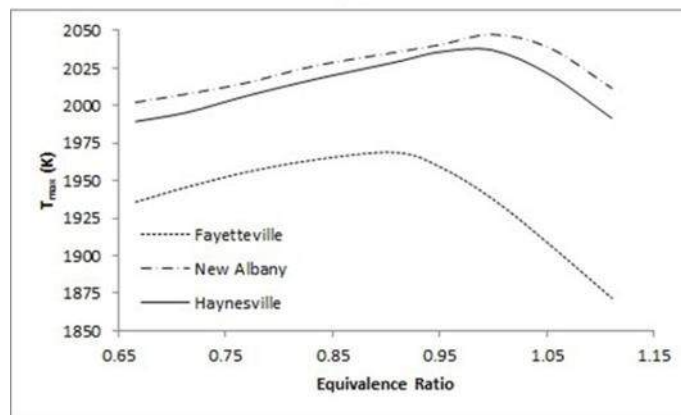
The mass fractions of NO at different equivalence ratios are given in Fig. 3a. The maximum NO mass fractions of Fayetteville, New Albany, and Haynesville occur at the equivalence ratio of 0.97, 1.03, and 1.03 respectively. The highest NO belongs to New Albany shale gas and is 0.00269 kg NO/kg. Thermal NO formation has a bigger effect in total NO emissions of New Albany and Haynesville according to Fayetteville shale gas combustion because of high reaction temperatures over 2000 K. The combustion is actually carried out with %20 excess air to reduce the emissions and provide a better combustion in practice. It corresponds to roughly ER=0.8. NO emissions for Fayetteville, Haynesville, and New Albany at ER=0.8 are 0.000385, 0.00086, and 0.0012 kg NO/kg. CO mass fractions of the non-premixed combustions of shale gases are depicted in Fig 3b. The ascending equivalence ratio raises CO mass fractions for all the shale gases as expected. The rising equivalence ratio enhances fuel ratio and reduces air in the combustor. Thus, CO rises as the result of incomplete combustion. The highest CO emerges at Fayetteville combustion. There is a difference of %52 between Haynesville and Fayetteville at ER=1. For ER=0.8, CO emissions of New Albany, Haynesville, and Fayetteville are 0.0071, 0.01025, and 0.0201 kg CO/kg. The maximum reaction temperatures are illustrated in Fig. 3c. The order of maximum reaction temperature from the highest to the lowest is New Albany, Haynesville, and Fayetteville. The maximum reaction temperature of New Albany is 2048 K. The absent air reduces reaction temperatures in the rich fuel areas because of the incomplete combustion. The difference between the maximum reaction temperatures of Fayetteville and Haynesville is %3 with 68 K.



(a)



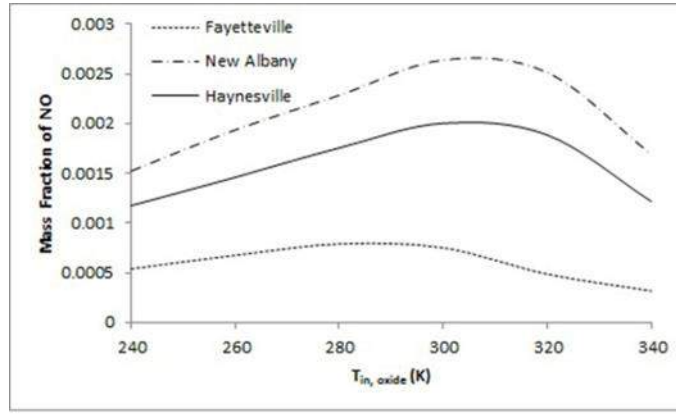
(b)



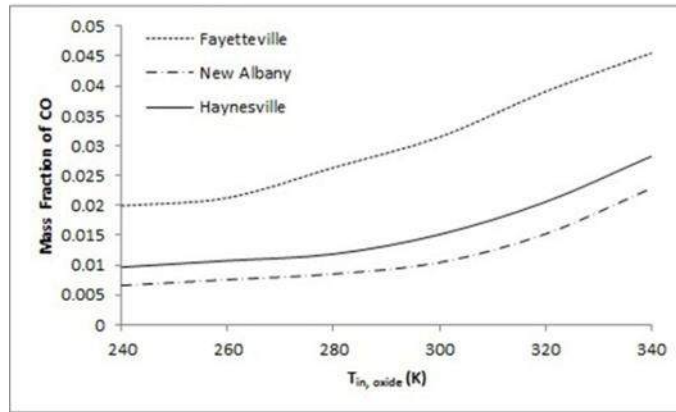
(c)

Fig. 3. The mass fractions and maximum reaction temperatures at different equivalence ratios: (a) NO mass fraction, (b) CO mass fraction [12], (c) Maximum reaction temperatures

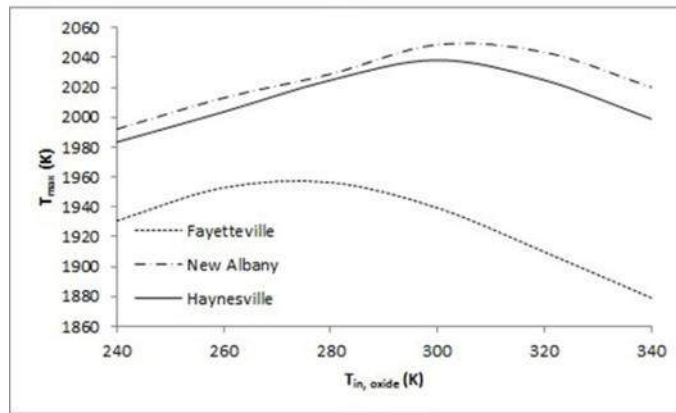
The effect of air (oxide) inlet temperature on the emissions of NO and CO is represented in Fig 4a and 4b. The fuel inlet and wall temperatures are constant at 300 K. NO emissions of New Albany and Haynesville rise up to 308 K and begin to decrease after that temperature. This case for Fayetteville roughly occurs at 290 K. The reason of the NO decrement after a certain inlet temperature value of oxide can be because warmer oxide does not adequately mix with fuel owing to the wrapping effect created by warmer oxide around fuel flowing at 300 K in the center of the combustor. The increment ratios for New Albany, Haynesville, and Fayetteville are %42, %41, and %31 between 240 K and maximum NO temperatures. The ascending oxide inlet temperature enhances CO emissions for all the shale gas combustions. The increments between 240 and 340 K are %128, %192, and %247 for Fayetteville, Haynesville, and New Albany respectively. The maximum reaction temperatures indicated in Fig 4c act similar as NO emissions because there is a crucial relation between the temperature and NO. The highest values of the maximum reaction temperatures are approximately 1956, 2039, and 2049 K for Fayetteville, Haynesville, and New Albany.



(a)



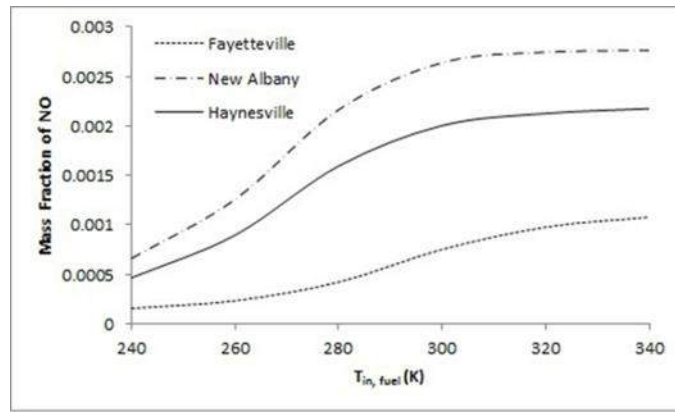
(b)



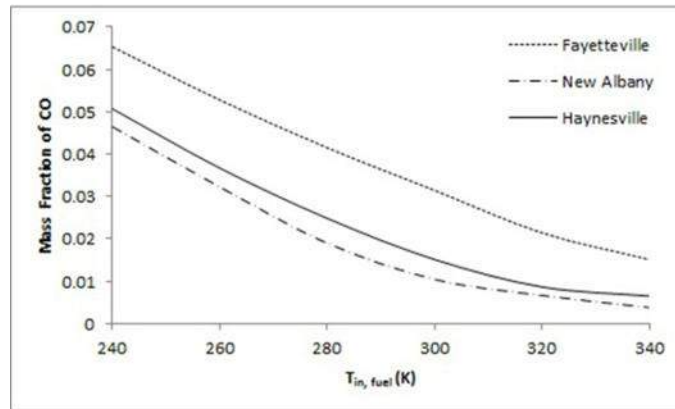
(c)

Fig. 4. The mass fractions and maximum reaction temperatures at different oxide inlet temperatures: (a) NO mass fraction, (b) CO mass fraction, (c) Maximum reaction temperatures

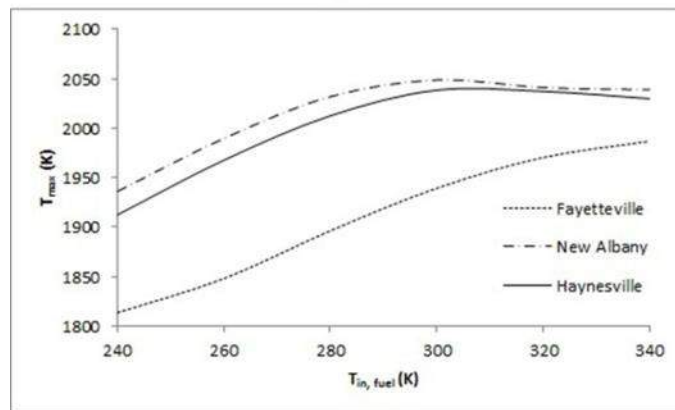
The escalating fuel inlet temperature increases NO mass fractions given in Fig 5a. The rank from the highest to the lowest is New Albany, Haynesville, and Fayetteville. The increment slopes of NO mass fractions decrease a bit after 290 K for Fayetteville and 308 K for New Albany and Haynesville. There is an increment of %320, % 370, and %575 for New Albany, Haynesville, and Fayetteville respectively between 240 and 340 K. On the contrary, the rising fuel inlet temperature reduces the mass fractions of CO because of fuel burning better in Fig 5b. New Albany combustion has lower CO emission. The difference of 100 K at fuel inlet temperature causes the decrement of %76, %87, and %91 for Fayetteville, Haynesville, and New Albany. The effect of the rearing fuel inlet on the maximum reaction temperatures is illustrated in Fig. 5c. It uplifts the maximum reaction temperatures for all the shale gases because of fuel combusting more effective. Nevertheless, the growing reaction temperature raises thermal NO mass fractions as well. The augmentation at the maximum reaction temperature for an increment of 100 K in the fuel inlet temperature is 102 K (%5), 117 K (%6), and 173 K (%9) for New Albany, Haynesville, and Fayetteville.



(a)



(b)

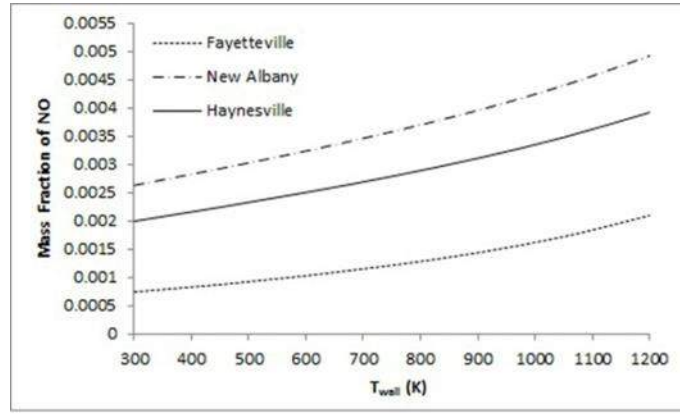


(c)

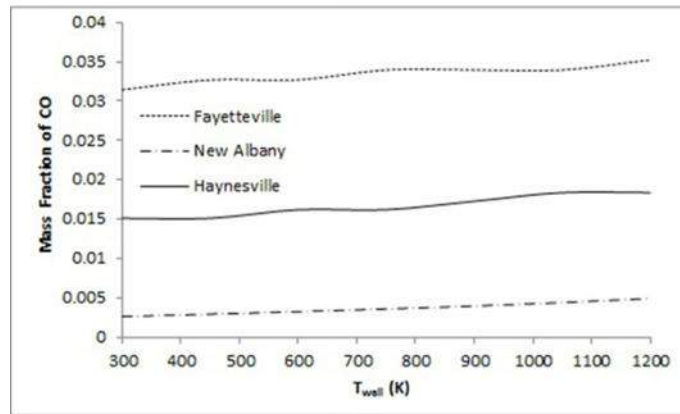
Fig. 5. The mass fractions and maximum reaction temperatures at different fuel inlet temperatures: (a) NO mass fraction, (b) CO mass fraction, (c) Maximum reaction temperatures

The effect of the wall temperature of the combustor on the NO and CO emissions is depicted in Fig 6a and 6b. The ascending wall temperature in non-adiabatic combustion increases NO mass fraction because of the rising reaction temperature. The augment ratio between 300 and 1200 for NO mass fractions of New Albany, Haynesville, and Fayetteville is %86, %96, and %86. It also raises CO mass fractions somewhat. The highest CO value with 0.0333 kg CO/kg on average belongs to Fayetteville shale gas combustion. It can also be commented that the rising at both NO and CO mass fractions indicates a tendency toward poor or incomplete combustion. It is seen in Fig 6c that the increasing wall temperature enhances the maximum reaction temperature of the combustion. The increment of 900 K at the wall temperature causes to the elevation of 81 K, 84 K and 95 K for New Albany, Haynesville, and Fayetteville respectively.

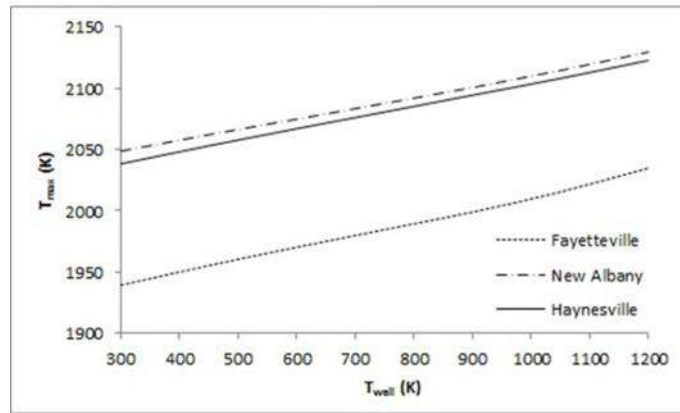
The combustion systems burned gas and other fuels in heating devices, engines, and power plants emerges somehow the hazardous emissions as NO, CO, SO and the other pollutants. The undesired emissions are able to be withdrawn nearly to the proper limits by the ways as humid combustion air, exhaust gas re-circulation, water injection, low sulphur gas, liquid shower, compressed air, catalytic reduction, and etc [12].



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. The mass fractions and maximum reaction temperatures at different wall temperatures: (a) NO mass fraction, (b) CO mass fraction, (c) Maximum reaction temperatures

4. Conclusion

The NO and CO emissions of turbulent, non-premixed, and non-adiabatic combustions of shale gases extracted from several regions of USA are numerically investigated and the alterations of mass fractions of NO and CO with the variations of oxide and fuel inlet temperatures, wall temperatures and equivalence ratios are computationally determined in this study. The following results are obtained:

- NO mass fractions of Fayetteville, New Albany, and Haynesville reach to the maximum at the equivalence ratios of 0.97, 1.03, and 1.03 respectively. The highest NO belongs to New Albany with 0.00269 kg NO/kg. The rising equivalence ratio increases CO mass fractions for all the shale gases. The rank of maximum reaction temperatures from the highest to the lowest is New Albany, Haynesville, and Fayetteville.
- NO mass fractions of New Albany and Haynesville arrive to the maximum value at 308 K and begin to decrease after that temperature under the effect of rising oxide inlet temperature. It is approximately 290 K for Fayetteville. The increasing oxide inlet temperature uplifts CO emissions for all the shale gas combustions. The maximum reaction temperatures for Fayetteville, Haynesville, and New Albany nearly come to the highest values at 1956, 2039, and 2049 K respectively.

- The rising fuel inlet temperature escalates NO mass fractions. The order from the highest to the lowest NO value is New Albany, Haynesville, and Fayetteville. The enhancing fuel inlet temperature decreases CO mass fractions. It raises the maximum reaction temperatures at all the shale gases combustions.
- The enhancing wall temperature ascends NO mass fractions. It also uplifts CO mass fractions a bit. The highest CO emission belongs to Fayetteville with 0.0333 kg CO/kg on average. The escalating wall temperature rears up the maximum reaction temperatures of the combustions.

References

- [1] Chang Y., Huang R., Ries R. J., and Masanet E., "Life-cycle comparison of greenhouse gas emissions and water consumption for coal and shale gas fired power generation in China", *Energy*, 86, 335-343, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.034>
- [2] Bilgen, S., and Sarıkaya, İ. "New horizon in energy: Shale gas". *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 35:637-645, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2016.09.014>
- [3] Lan, Y., Yang, Z., Wang, P., Yan, Y., Zhang, L., and Ran, J., "A review of microscopic seepage mechanism for shale gas extracted by supercritical CO₂ flooding". *Fuel*, 238: 412-424, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.130>
- [4] Wang, Y., Liao, B., Qiu, L., Wang, D., Xue, Q., "Numerical simulation of enhancing shale gas recovery using electrical resistance heating method". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 128: 1218-1228, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.075>
- [5] Wang Q., Chen X., Jha A. N., and Rogers H., "Natural gas from shale formation-the evolution, evidences and challenges of shale gas revolution in United States", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 1-28, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.065>
- [6] Bocola W., and Cirillo M. C., "Air pollutant emissions by combustion processes in Italy", *Atmospheric Environment*, 23 (1), 17-24, 1989.
- [7] Jerzak, W., "Emissions of NO_x and CO from natural gas combustion with adding CO₂ at varying distances from the burner", *Middle Pomeranian Scientific Society Of The Environment Protection* 16, 148-160, 2014.
- [8] Michael Alberts W., "Indoor air pollution: NO, NO₂, CO, and CO₂", *J Allergy Clin Immunol*, 94, 289-95, 1994.
- [9] Alyüz B., and Veli S., "İç ortam havasında bulunan uçucu organik bileşikler ve sağlık üzerine etkileri", *Trakya Univ J Sci*, 7 (2), 109-116, 2006.
- [10] Somarathne K. D. K. A., Parwatha G., Oguri S., Nada Y., Ito T., and Noda S., "NO_x reduction of non-premixed flames by combination of burner and furnaces", *Journal of Environment and Engineering*, 8 (1), 1-10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1299/jee.8.1>
- [11] Akça H., Ürel G., Karacan C. D., Tuygun N., and Polat E., "The effect of carbon monoxide poisoning on platelet volume in children", *J Pediatr Emerg Intensive Care Med*, 4, 13-16, 2017. <http://dx.doi.org/10.4274/cayd.52523>
- [12] Ozturk, S. "A Computational evaluation for hazardous emissions of non-premixed shale gas combustion". *Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(11):256-264, 2018.
- [13] United States Environmental Protection Agency (EPA), *Air Pollutant Emissions*, https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/air-pollutant-emissions-trends-data1970_2017, 15.11.2018.
- [14] Cohen B, and Winkler H., "Greenhouse gas emissions from shale gas and coal for electricity generation in South Africa", *S Afr J Sci.*, 110 (3/4), 1-5, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/sajs.2014/20130194>
- [15] Vargas A. C., Arrieta A. A., and Arrieta C. E., "Combustion characteristics of several typical shale gas mixtures", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 33, 296-304, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2016.03.039>
- [16] Gebhardt, Z., "Analysis of the possibilities for using shale gas to supply gas appliances based on the comparative assessment of gas". *Nafta-Gaz*, 11:924-928, 2015. <http://dx.doi.org/10.18668/NG2015.11.16>
- [17] Bullin K., Krouskop P., and Bryan Research and Engineering Inc. Bryan, Tex., "Composition variety complicates processing plans for US shale gas", E-book, Based on: Annual Forum, Gas Processors Association, Houston Chapter, Houston, Oct. 7, 2008.



Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi

Sıla Yaman^{1*}, Hamide Tekeli², Fuat Demir³

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3131-1090)

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3515-6836)

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6726-3831)

(İlk Geliş Tarihi 18 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 15 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.528665)

ATIF/REFERENCE: Yaman, S., Tekeli, H. & Demir, F. (2019). Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 194-204.

Öz

Betonarme binalarda deprem etkisine karşı perde duvar kullanımının önemi büyüktür. Tasarım aşamasında uygulamacı mühendisler, planda yerleştirilecek olan perde duvar miktarına ve yerleşimine karar verir. Bunun için öncelikle, perde duvar miktarı ve yerleşimi parametrelerinin, bina davranışı ve deprem güvenliği üzerindeki etkilerinin anlaşılması gerekmektedir. Bu çalışmada; betonarme bir binanın planındaki perde duvar yerleşimi farklılığının binanın kapasitesi ve deprem performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, konut türü, sekiz katlı, iki ve dört açıklıklı, farklı perde duvar miktar ve yerleşimlerine sahip perdeli çerçevesel ve sadece çerçevesel betonarme binalar model olarak seçilmiştir. Model binalar düzenli bir kalıp planına sahiptir. Perde duvarlar, diğer yönde yerleştirilecek perdelerin binanın çözümlenme sonuçlarına olan etkisi ihmal edilerek, binanın sadece x doğrultusunda simetrik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Model binalarda kullanılan perde kesiti DBYBHY (2007)'de verilen minimum boyutları sağlayacak şekilde 200×1400 mm olarak dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında perde duvarlar, geniş kolon analojisi olarak da bilinen plastik mafsallı orta-dikme çubuk modeli kullanılarak SAP 2000 programı ile modellenmiştir. Tüm model binaların deprem performans değerlendirmeleri doğrusal elastik olmayan yöntemlerden "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" kullanılarak yapılmıştır. Model binalar için kapasite eğrileri, performans seviyeleri ve perde duvarda meydana gelen kesme kuvveti ve moment grafikleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlardan, perde duvarların iç ya da dış aksa yerleştirilmesinin, binanın kesme kapasitesinde %2 oranında bir değişime neden olduğu görülmüştür. Yapılan çözümlenmelerde sekiz katlı ve taşıyıcı sistemi salt çerçevesel olarak oluşturulan bina modellerinin hiçbirinin hedef performans seviyesini sağlamadığı görülmüştür. Bina planına simetrik olarak perde duvar yerleştirilmesi, performans seviyesinin hedef performans seviyesine yükseltilmesini sağlamıştır. Dolayısıyla perde miktarı ve yerleşimi değiştirilen tüm bina çözümlenmelerinde, "Can Güvenliği" performans seviyesi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme bina, performans, perde duvar, doğrusal elastik olmayan yöntem.

The Effects of Shear Wall Location on Building Performance in Reinforced Concrete Buildings

Abstract

The use of a shear wall in reinforced concrete buildings is of great importance against earthquake effect. At the design stage, the application engineers decide the amount and location of the shear wall to be used in the plan. Therefore, first of all, it is should be understood the effects of the shear wall quantity and layout parameters on the building behavior and seismic safety. In this study; the variation of shear wall layout in the plan of a reinforced concrete building is investigated on the effects of building capacity and seismic performance. For this purpose, a residential type, eight-storeyed, two and four-span shear wall frame, and only frame reinforced concrete buildings are selected as models. The model buildings have a regular formwork plan. The shear walls have been

* Sorumlu Yazar: Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3131-1090, silayaman@sdu.edu.tr

placed in such a way that they will be symmetrical in the x-direction of the building neglecting the effect of the shear walls that will be placed in the other direction on the results of the analysis of the building. The shear wall section used in the model buildings has been considered as 200×1400 mm in such a way that it will ensure the minimum dimensions given in DBYBHY (2007). Within the scope of the study, the shear walls, also known as wide column analogy, have been modeled in SAP2000 program by using a plastic hinged mid-strut rod model. The seismic performance evaluations of all model buildings were made by using "Incremental Equivalent Seismic Load Method" of nonlinear elastic methods. Capacity curves, performance levels, and graphs of shear force and bending moment that occurred on the shear wall were obtained for the model buildings. From the results obtained in this study, it has been observed that the placement of the shear walls on the inner or outer axis caused a change in shear capacity of the building by 2%. In the analyzes made, it was seen that none of the building models, which were formed as an eight-storeyed and purely framed system, ensured the target performance level. Placing the shear wall symmetrically on the building plan has ensured the performance level to be increased to the target performance level. Therefore, "Life Safety" performance level is obtained in all building analyzes where shear wall quantity and location is changed.

Keywords: Reinforced concrete building, performance, shear wall, nonlinear analysis.

1. Giriş

Ülkemiz nüfusunun %95'i ve büyük sanayi merkezlerinin neredeyse tamamı deprem riski etkisinde olduğundan (Öztürk, 2005), bu bölgelerde bulunan binaların depreme güvenli olarak inşaa edilmesi gerekmektedir. Bir binanın deprem güvenliğine en çok katkı sağlayan taşıyıcı elemanlar perde duvarlardır (Atımtay, 2000).

Depremde hasar gören binalar üzerinde yapılan incelemelerde, perdeli binaların çerçevesiz binalara göre performansının daha iyi olduğu gözlenmiştir (Şahin ve ark., 2013). Betonarme binalarda deprem etkisine karşı perde duvar kullanımının önemi büyüktür. Perdeli çerçevesiz sistemlerde kat kesme kuvvetinin büyük bir bölümü perdeler tarafından karşılanmakta, kolonlara etkiyen kesme kuvveti büyük oranda azalmaktadır (Kasap ve ark., 2015). Özellikle yüksek katlı binaların tasarımında, yatay yüklerin karşılanması ve yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması için perde duvarların kullanılması önemlidir. Tasarım aşamasında uygulamacı mühendisler, planda yerleştirilecek olan perde duvar miktarına ve yerleşimine karar verir. Bunun için öncelikle, perde duvar miktarı ve yerleşimi parametrelerinin, bina davranışı ve deprem güvenliği üzerindeki etkilerinin anlaşılması gerekmektedir. Perde miktarı değişiminin davranış üzerindeki etkileri ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda, perde oranı arttıkça kolonlarda hasara sebep olan plastik dönme miktarının azaldığı ya da tamamen kaybolduğu ve binada hedeflenen performans düzeyinin sağlanmasında önemli rol oynadığı gözlenmiştir (Kasap ve Varol, 2003; Günel, 2013; Sakcalı ve ark., 2017; Yüksel ve ark., 2017).

Bina planında perde duvar yerleşiminin değişmesiyle meydana gelen davranış farklılıklarını incelemek amacıyla yapılan çalışmalarda (Uçar ve Merter, 2009; Aktan ve Kıraç, 2010; Halkude ve ark., 2015; Rokanuzzaman ve ark., 2017; Yaman, 2018), perde duvarların dış aksa yerleştirilmesinin davranış açısından daha uygun olduğu, kat yatay yerdeğiştirmelerinin oldukça azaldığı ve burulma rijitliğinin arttığı ifade edilmiştir. Ancak yapılan bu incelemelerde doğrusal olmayan davranış genellikle gözardı edilmiştir. Son yıllarda binaların deprem güvenliği incelemesinde kullanılan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerin yaygın olması ile incelemeler bu alanlarda yoğunlaşmıştır. Örneğin Sayın ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, çok katlı betonarme binaların zemin sınıfı değişiminin ve farklı perde konumunun taşıyıcı elemanların hasarına etkisi, doğrusal elastik değerlendirme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, perde duvarların yapının dış akslarından iç akslara doğru kaydırılması ve zemin sınıfının Z1' den Z4' e doğru değişim göstermesi ile yapı elemanlarındaki iç kuvvetlerin ve hasarların arttığı gözlenmiştir. Benzer sonuçlar, Aracı (2012) tarafından doğrusal elastik değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada da sunulmuş ve perde duvarların olabildiğince kat planının dış çerçevesine ve simetrik olarak yerleştirilmesi tavsiye edilmiştir. Firoozabad ve ark. (2012), perde duvar yerleşiminin çatı katı ötelenmesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, farklı kat adedine ve perde yerleşimlerine sahip binaları, Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemini kullanarak çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, perde duvar konumunun değişiminin çatı katı ötelenme değerlerini %100 oranında değiştirebildiği görülmüştür. Öztürk ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Zaman Tanım Alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerin yapılması ile perdeli-çerçevesiz modelde meydana gelen yerdeğiştirmelerin, çerçevesiz modele göre beklenildiği gibi daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, plandaki perde duvar yerleşimi farklılığının, betonarme binaların deprem performansına olan etkisi doğrusal elastik olmayan yöntemler arasından "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla düzenli taşıyıcı sisteme sahip konut türü model binalar seçilmiştir. Bu binalara DBYBHY (2007)'de verilen minimum boyutları sağlayacak şekilde simetrik olarak, farklı miktarlarda ve yerleşimlerde perde duvarlar ilave edilerek perdeli-çerçevesiz bina modelleri oluşturulmuştur. Tüm binaların deprem güvenliği doğrusal elastik olmayan yöntem ile belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deprem Güvenliği Belirlenmesinin Esasları

Mevcut binanın deprem performansına karar verebilmek için, DBYBHY (2007)' in yedinci bölümünde doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden en az birinin uygulanması önerilmektedir. Betonarme binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için çalışma kapsamında yapılan çözümlenmelerde DBYBHY (2007)'de tanımlanan doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi" yöntemi kullanılmıştır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanabilmesi için binanın kat adedinin sekizden az olması, burulma düzensizliği katsayısının 1.4 değerinden küçük olması, birinci titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranının en az 0.70 olması gereklidir.

Yönetmelikte sunulan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, belli bir deprem seviyesi için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanması olarak belirtilmiştir. Bu istem büyüklükleri, şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde performans değerlendirme yapılır. Bunun için öncelikle, kesitlere ait plastik mafsallar atanır ve artan yanal yük altında kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin koordinatları, “modal yer değiştirme-modal ivme” eğrisi koordinatlarına, spektrum eğrisinin koordinatları ise “spektral ivme-spektral yer değiştirme” eğrisi koordinatlarına dönüştürülür. Eksen dönüşümleri yapılan her iki eğri aynı grafik üzerinde çizilerek binaya ait hedef yer değiştirme istem seviyesi belirlenir. Binanın çatı katının hedef yer değiştirme istem seviyesine kadar ötelenmesi durumunda, taşıyıcı elemanlarda elde edilen beton ve donatıya ait şekil değiştirme değerleri, DBYBHY (2007)’de tanımlanan sınır değerlerle kıyaslanarak eleman hasar seviyeleri belirlenir.

DBYBHY (2007)’de sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç farklı hasar sınır durumu tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)’dir. Plastik şekil değiştirmelerin hasar seviyesi için izin verilen üst sınırları Eş. 1, 2 ve 3’te verilmiştir.

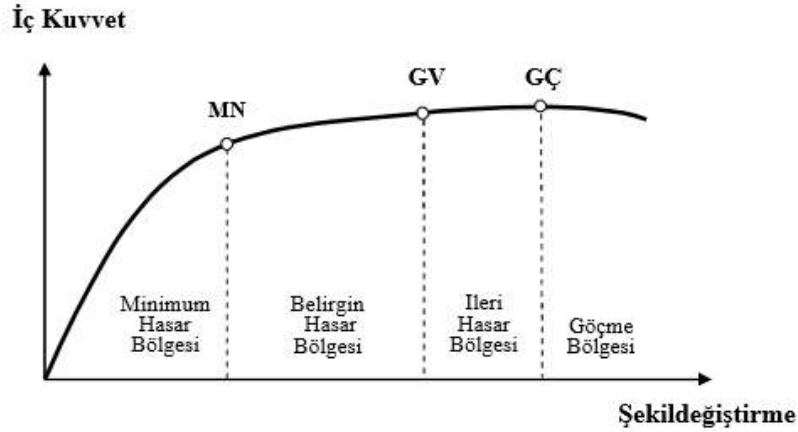
$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\varepsilon_s)_{MN} = 0.01 \quad (1)$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (2)$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GÇ} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\varepsilon_s)_{GÇ} = 0.060 \quad (3)$$

Burada ε_c , beton basınç birim şekil değiştirmesinin üst sınırını; ε_s , donatı çeliği birim şekil değiştirmesinin üst sınırını; ρ_s , kesitte mevcut olan ve ρ_{sm} ise kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını göstermektedir.

Betonarme taşıyıcı elemanlar için, DBYBHY (2007)’de dört farklı hasar bölgesi tanımlanmıştır. Kritik kesitlerinin hasarı MN’ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÇ’yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar (Şekil 1).



Şekil 1. Kesit hasar bölgeleri (DBYBHY, 2007)

Kat içerisindeki taşıyıcı sistem elemanlarının hasar seviyelerinin dağılımına bağlı olarak kat performans seviyesi, kat performans seviyelerinin kıyaslanması ile bina performans seviyesi elde edilir. DBYBHY (2007)’de deprem etkisi altında binada oluşması beklenen performans seviyesi Hemen Kullanım, Can Güvenliği, Göçme Öncesi ve Göçme Durumu olmak üzere dört farklı şekilde tanımlanmıştır. Binanın depreme karşı güvenlik durumuna; binaya ait elde edilen deprem performans seviyesinin, bina kullanım amacı ve deprem düzeyine göre belirlenen hedef performans seviyesi ile kıyaslanmasıyla karar verilir. Çalışma kapsamında konut türü binaların deprem güvenliği incelendiği için, hedef performans seviyesi olarak 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için “Can Güvenliği” performans seviyesi seçilmiştir. Bu performans seviyesinin sağlanması için DBYBHY (2007)’de verilen koşullar aşağıda tanımlanmıştır.

“(a) Kirişlerin en fazla %30’u İleri Hasar Bölgesi’ne geçebilir.

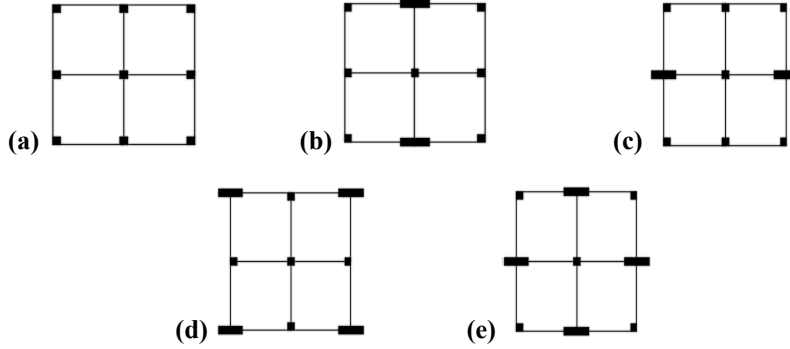
(b) İleri Hasar Bölgesi’ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20’nin altında olmalıdır. En üst katta bu oran en fazla %40 olabilir.

(c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi’ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30’u aşmaması gerekir.”

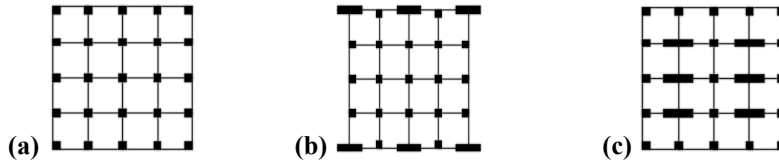
2.2. Bina Modellerinin Tanıtılması

Betonarme konut türü bir binanın planındaki perde duvar yerleşimi farklılığının bina performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, düzenli ve simetrik bir plana sahip 2×2 ve 4×4 açıklıklı çerçevesel binalar model olarak seçilmiştir. Çerçevesel binalara farklı yerleşimde ve miktarda perde duvarlar ilave edilerek perdeli-çerçevesel bina modelleri elde edilmiştir. Perde duvarlar, diğer yönde yerleştirilecek perdelerin binanın çözümleme sonuçlarına olan etkisi ihmal edilerek, binanın sadece x doğrultusunda simetrik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Burada amaç perde miktarı ve yerleşiminin daha kolay bir şekilde değiştirilmesini sağlamak ve bu

parametrelerin, sistemin çözümlene sonuçlarına olan etkisini incelemektir. Bu nedenle perde duvarlar sisteme tek doğrultuda yerleştirilmiş ve binalar SAP 2000 programı (2011) yardımıyla bu doğrultuda çözümlenmiştir. Oluşturulan 2×2 açıklıklı bina planlarına ait görünüm Şekil 2’de, 4×4 açıklıklı bina planlarına ait görünüm Şekil 3’te verilmiştir.

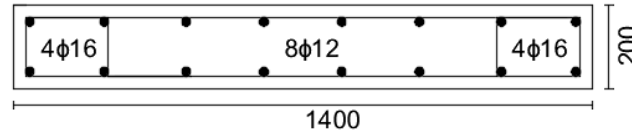


Şekil 1. İki açıklıklı model binalara ait kalıp planı görünüşleri (a) Model 1_A2_Ç, (b) Model 2_A2_P2, (c) Model 3_A2_P2, (d) Model 4_A2_P4 ve (e) Model 5_A2_P4



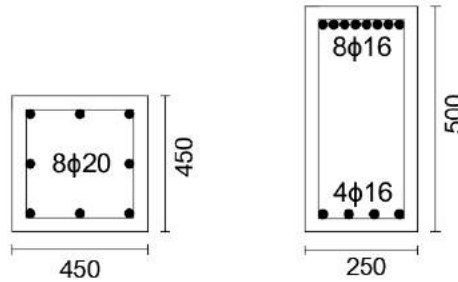
Şekil 2. Dört açıklıklı model binalara ait kalıp planı görünüşleri (a) Model 6_A4_Ç, (b) Model 7_A4_P6 ve (c) Model 8_A4_P6

Burada, Model 2_A2_P2 isimlendirmesinde kullanılan Model 2 ifadesi, 2 numaralı modeli; A2 ifadesi, 2×2 açıklıklı modeli; P2 ifadesi ise kullanılan perde sayısının 2 olduğunu göstermektedir. Modellerden birincisi salt çerçeveli sistemden oluşmaktadır. Diğer modeller ise, farklı miktarda ve yerleşimlerdeki perdenin ilave edildiği sistemleri ifade etmektedir. Tüm modeller sekiz katlı olarak tasarlanmış, kat yükseklikleri 3 m, x ve y doğrultusundaki taşıyıcı sistem eksen açıklıkları ise 4 m olarak seçilmiştir. Model binalarda kullanılan perde kesiti DBYBHY (2007)’de verilen minimum boyutları sağlayacak şekilde 200×1400 mm olarak dikkate alınmıştır. Çözümlenelerde dikkate alınan perde kesiti ve donatısı Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Perde duvara ait kesit özellikleri (mm)

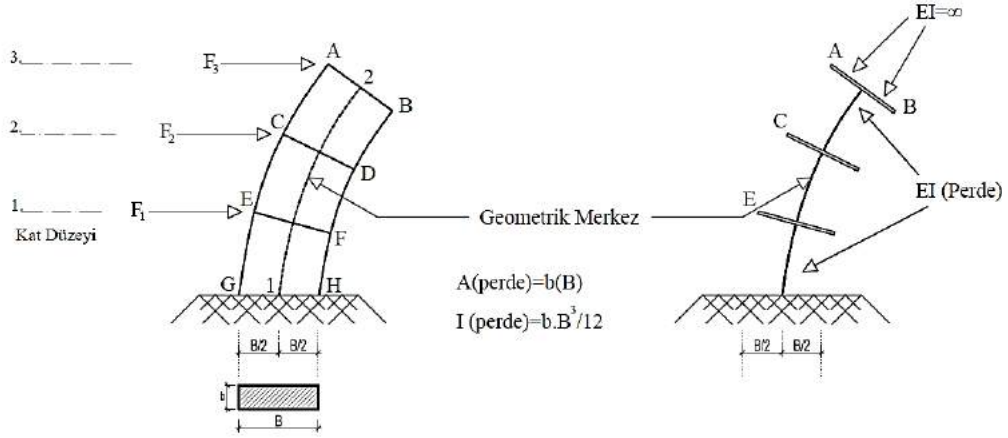
Model binaların, 1. derece deprem bölgesinde ve Z4 yerel sınıfında bulunan konut türü binalar olduğu kabul edilmiştir. Sistemin simetrik olmasından dolayı, çözümlenmeler sadece binanın x yönü için yapılmıştır. Tüm modellerde, kiriş boyutu 250×500 mm, kolon boyutu ise 450×450 mm olarak dikkate alınmıştır. Kolona ait donatı oranı %1.2 (8Ø20) olarak seçilmiştir. Kirişlerde mesnet üst donatısı 8Ø16, alt donatısı ise 4Ø16 olarak dikkate alınmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde etriye Ø8/10 olarak kullanılmıştır. Kolon ve kiriş kesitlerine ait görünüm Şekil 5’te verilmiştir. Modellenen binalarda rijit diyafram etkisi tüm katlar için dikkate alınmıştır. Çözümlenelerde C20 beton ve S420 donatı sınıfı esas alınmıştır. Performans değerlendirmeleri “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılarak yapılmıştır. Yönetmelik esaslarının kontrol edilebilmesi için, Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme Programı (DELOP, 2013) kullanılmıştır.



Şekil 5. Kolon ve kirişe ait kesit özellikleri (mm)

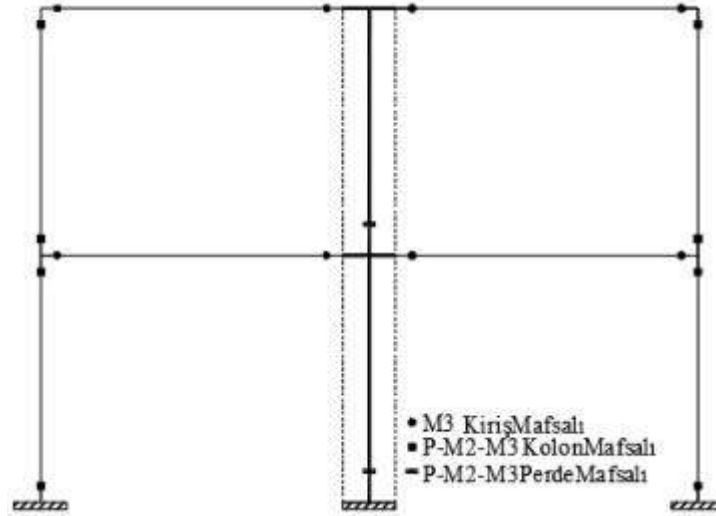
Binanın yatay yük taşıma kapasitesini ve yanal ötelenme rijitliğini önemli derecede artıran perde duvarların yapısal analizlerinin gerçekçi bir şekilde yapılabilmesi için doğru şekilde modellenmesi büyük önem taşımaktadır (Fahjan ve ark., 2011). Çalışma kapsamında perde duvarlar, geniş kolon analogisi olarak da bilinen plastik mafsallı orta-dikme çubuk modeli kullanılarak

tanımlanmıştır. Bu modelde perde duvar, perde akslarından geçen geniş bir kolon olarak modellenmektedir (Şekil 6). Perdenin (B) genişliğince oluşan eşit dönme açısı, uzunlukları perde kesit genişliğinin yarısına eşit (B/2) ve eğilme rijitliği sonsuz olan kiriş elemanların kullanılmasıyla sağlanır (Atımtay, 2001).



Şekil 6. Perde taşıyıcının eşdeğer matematik modeli (Sakcalı ve ark., 2017)

Doğrusal olmayan çözümlemenin yapılabilmesi için, kolon ve perde elemanlara PM2M3, kiriş elemanlara ise M3 mafsalları atanmıştır. Plastik mafsallar, kolon ve kirişlerde net açıklıklarının uçlarına, perde elemanlarda plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmiştir (Şekil 7). Mafsal özelliklerinin tanımlanmasında Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme (BESAM, 2013) programı kullanılmıştır. BESAM, betonarme elemanlarda beton dayanımı, donatı düzeni ve sargı etkisini dikkate alarak kesit özelliklerini tanımlamak için Fortran dilinde yazılan bir bilgisayar programıdır. Programda, sargılı beton modeli için DBYBHY (2007)'de verilen Mander sargı modeline ait gerilme-şekil değiştirme ilişkileri kullanılmaktadır. Beton için sargılı model kullanılarak kiriş ve kolon kesitine ait moment-eğrilik ve moment-dönme ilişkileri, kolon ve perde duvar kesitine ait karşılıklı etki diyagramları elde edilebilmektedir.



Şekil 7. Plastik mafsalların konumu

Plastik mafsal boyu, kolon ve kiriş elemanlarda DBYBHY (2007)'e göre kesit yüksekliğinin yarısı olarak tanımlanmıştır. Perde elemanlarda ise, Paulay ve Priestley (1992) tarafından önerilen ve Eş. 4 'te verilen plastik mafsal boyu ifadesi kullanılmıştır.

$$L_p = 0,08 \cdot z + 0,022 \cdot d_b \cdot f_y \quad (4)$$

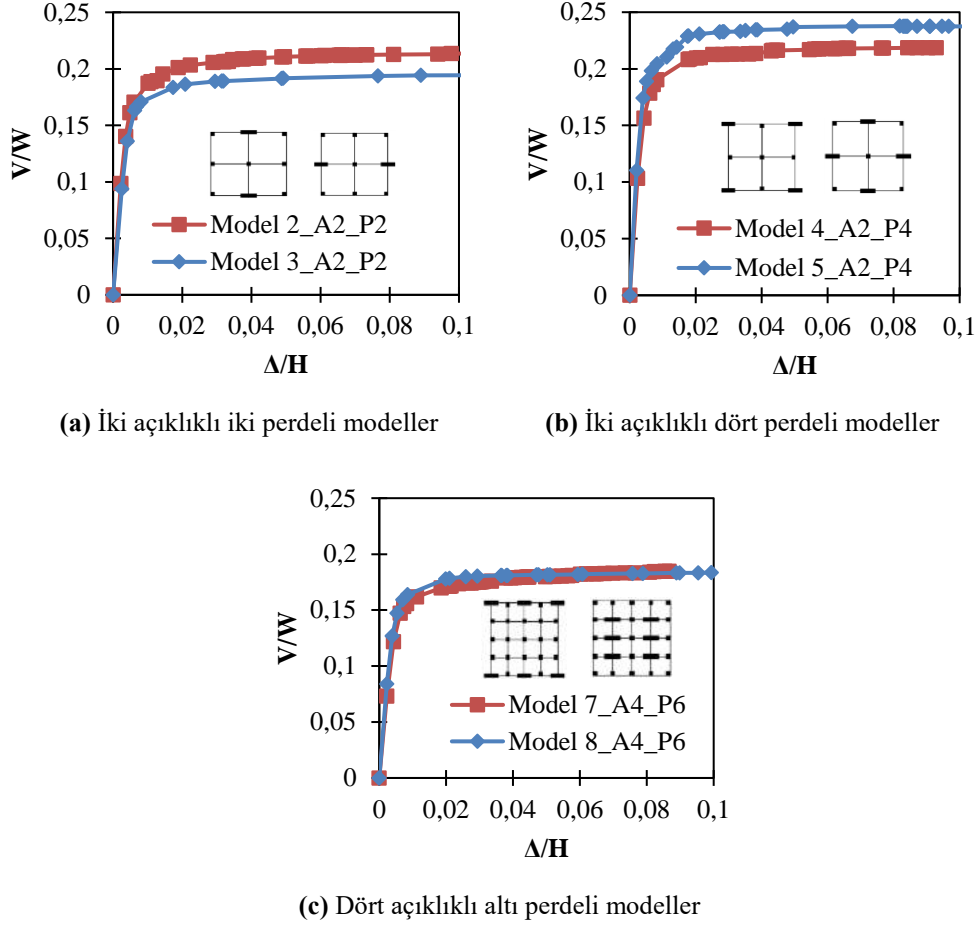
Burada; L_p , plastik mafsal boyunu; z , moment sıfır noktasının temel üstü yüksekliğini; f_y , boyuna donatının akma dayanımını; d_b , boyuna donatı çapını ifade etmektedir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Bina Performansının Belirlenmesi

Oluşturulan betonarme bina modellerinin deprem güvenliği, "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" kullanılarak belirlenmiştir. Kütlelerle uyumlu düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz ile çözümlenen modellerin analiz sonuçları, yatay yük uygulanan artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan itme analizlerinde, birinci mod titreşim şekli ile uyumlu olarak deprem yükü uygulanmış ve koordinatları "taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme"

olan kapasite eğrileri elde edilmiştir. Kapasite eğrilerini oluşturan düşey eksen bina ağırlığı ile yatay eksen ise bina yüksekliği ile oranlanarak grafikler boyutsuz hale getirilmiştir. Perde duvar yerleşiminin boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrileri üzerindeki etkinliğinin incelenmesi için, aynı perde miktarına ve açıklık sayısına sahip modeller birbiri ile kıyaslanmıştır. Bu amaçla; iki açıklıklı iki perdeli Model 2_A2_P2 ve Model 3_A2_P2, iki açıklıklı dört perdeli Model 4_A2_P4 ve Model 5_A2_P4 ve dört açıklıklı altı perdeli Model 7_A4_P6 ve Model 8_A4_P6 binalarına ait sonuçlar Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Perde yeri değişiminin kapasite eğrisi üzerindeki etkisi

Şekil 8’deki grafikler incelendiğinde perde duvar yerinin değişiminin kapasite eğrisi üzerinde önemli bir değişime neden olmadığı görülmüştür. Perde elemanların dış aksa yerleştirildiği 2×2 açıklıklı iki perdeli bina modelinin (Model 2_A2_P2), iç aksa yerleştirilen bina modelinden (Model 3_A2_P2) %2 daha fazla kesme kuvveti taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. 2×2 açıklıklı dört perdeli modellerde bu durum tam tersi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yani perde duvarı iç aksa yerleştirilen bina modeli (Model 5_A2_P4) dış aksa yerleştirilen bina modeline (Model 4_A2_P4) göre %2 daha fazla kesme kuvveti taşıma kapasitesine sahiptir. 4×4 açıklıklı altı perdeli modellerde (Model 7_A4_P6 ve Model 8_A4_P6) ise perde duvar yerinin değişimi binanın kesme kuvveti taşıma kapasitesini neredeyse hiç değiştirmemiştir.

Çözümlenmeler sonucunda elde edilen tüm model binaların çatlamamış kesite ait birinci mod doğal titreşim periyodları (T_1) ve hedef yerdeğiştirme istem değerleri (Δ_{hedef}) Tablo 1’de verilmiştir. Perdeli-çerçeve bina modelleri için elde edilen doğal periyod ve hedef yerdeğiştirme istem değerleri, çerçeve bina değerlerine oranlanarak değişim miktarları belirlenmiştir.

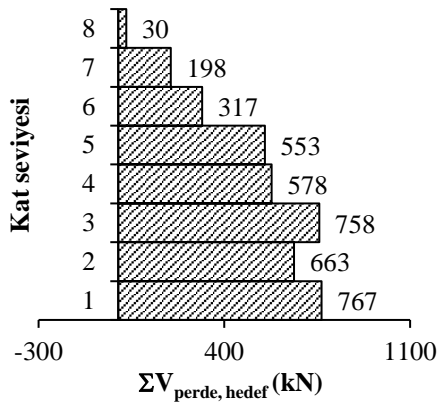
Tablo 1. Binalara ait doğal periyod ve hedef yerdeğiştirme istem değerleri

Model No	Açıklık Sayısı	T_1 (sn)	T_1 oranı	Δ_{hedef} (mm)	Δ_{hedef} oranı
Model 1_A2_Ç		0.94	1.00	433	1.00
Model 2_A2_P2		0.78	0.83	347	0.80
Model 3_A2_P2	2×2	0.84	0.89	383	0.88
Model 4_A2_P4		0.77	0.82	352	0.81
Model 5_A2_P4		0.71	0.76	308	0.71
Model 6_A4_Ç	4×4	1.11	1.00	523	1.00

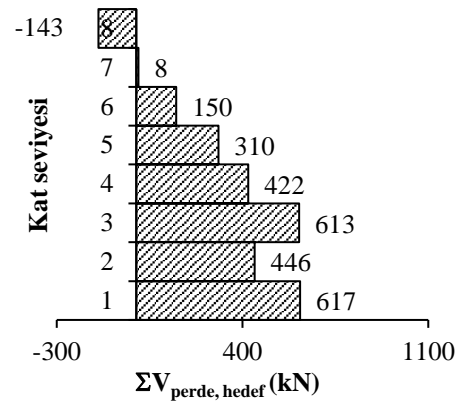
Model 7_A4_P6	0.91	0.82	420	0.80
Model 8_A4_P6	0.86	0.77	384	0.73

Periyod değeri; bina ağırlığı, kat adedi ve yatay yükler etkisi altındaki ötelenme rijitliğine bağlı olarak belirlenmektedir. Yatay yükler etkisindeki perdeli-çerçeve sistemlerin yanal ötelenme rijitliği çerçeve sistemlerinkine göre oldukça fazladır. Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, perde miktarının artması ile bina doğal titreşim periyodunun ve hedef yerdeğiştirme istem değerinin azaldığı görülmüştür. Aynı perde miktarına sahip ancak yerleşimleri farklı olan bina modellerinin periyod ve hedef yerdeğiştirme istem değerleri farklılık göstermektedir. Bunun nedeni sistemde deprem doğrultusuna göre perde elemana bağlı olan kiriş elemanların sayısının farklı olmasıdır. Dış aksa yerleştirilerek tek taraftan kiriş bağlantısı bulunan sistemlerde rijitlik daha az olduğundan sistemin periyodu ve buna bağlı olarak hedef yerdeğiştirme istem değeri artmaktadır.

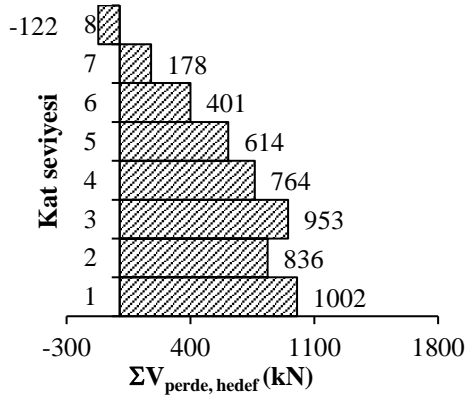
Perdeli-çerçeve bina modellerinde, hedef yerdeğiştirme seviyesindeki perde duvarların taşıdığı toplam kesme kuvvetlerinin kat seviyesine göre dağılımı Şekil 9'da, toplam eğilme momenti dağılımı ise Şekil 10'da verilmiştir. Burada, Model 2_A2_P2, Model 4_A2_P4 ve Model 7_A4_P6 binaları perde duvarların genellikle dış akslara yerleştirildiği modelleri; Model 3_A2_P2, Model 5_A2_P4 ve Model 8_A4_P6 binaları ise perde duvarların genellikle iç akslara yerleştirildiği modelleri temsil etmektedir. Moment grafikleri üzerinde yazan pozitif ve negatif değerler, en büyük moment değerlerini ifade etmektedir.



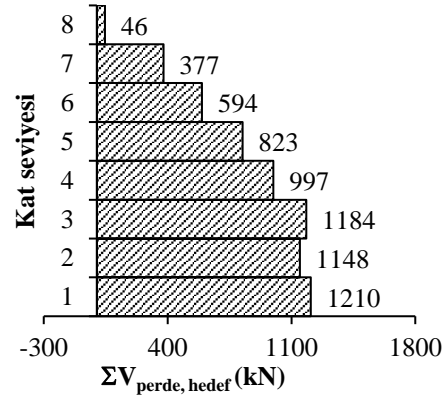
(a) Model 2_A2_P2



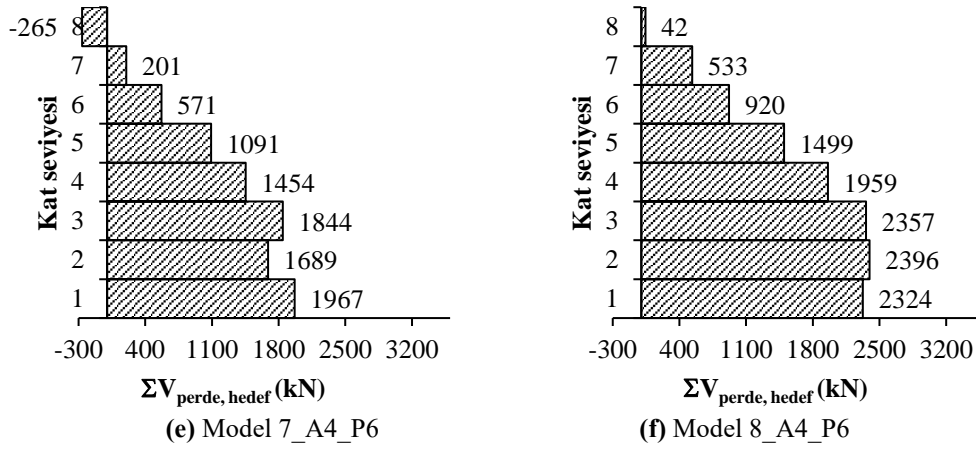
(b) Model 3_A2_P2



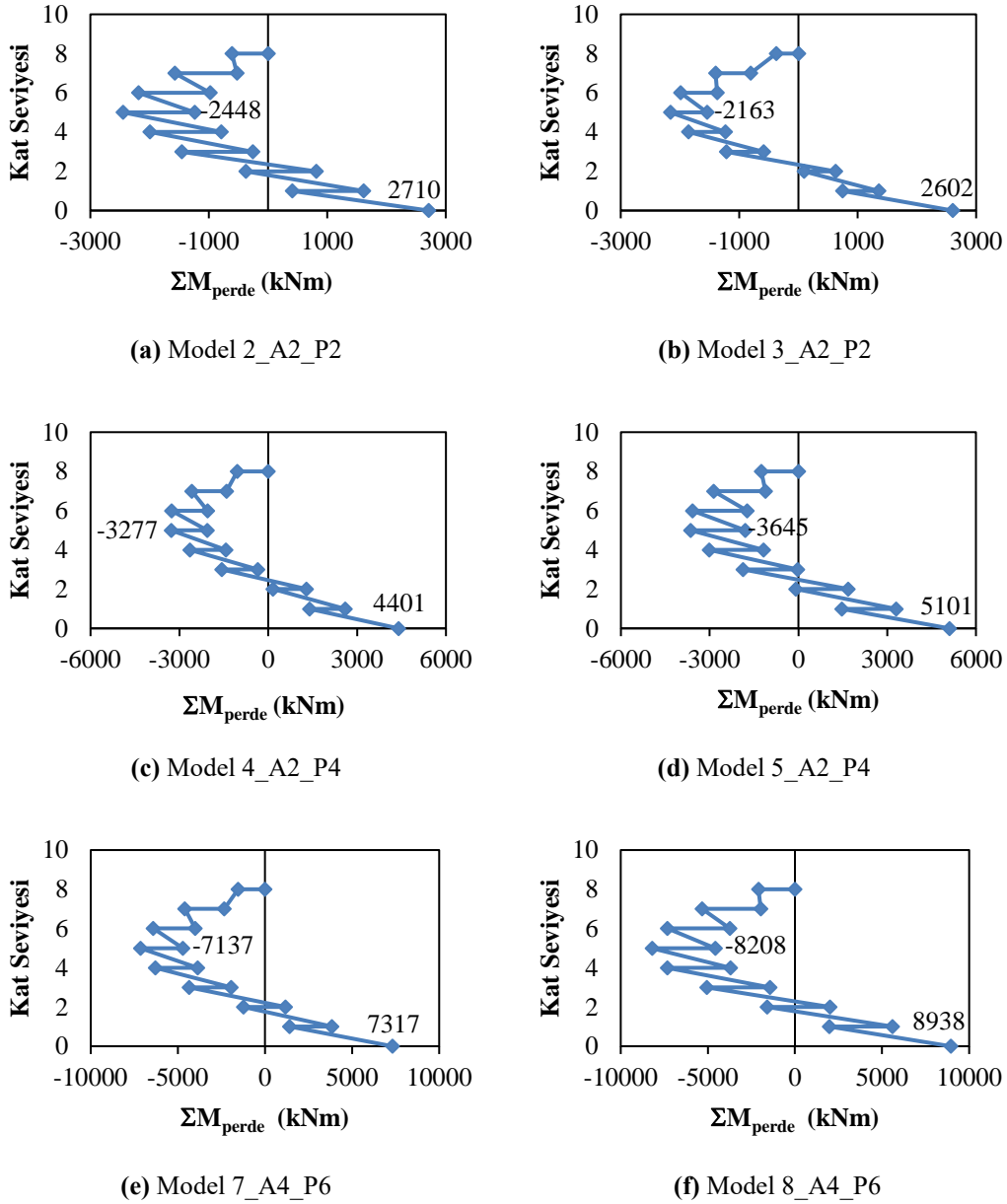
(c) Model 4_A2_P4



(d) Model 5_A2_P4



Şekil 92. Perde duvarlarda meydana gelen toplam kesme kuvveti dağılımları



Şekil 103. Perde duvarlarda meydana gelen toplam moment dağılımları

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 2×2 açıklığa ve iki adet perde duvara sahip modelde perde duvarların dış aksa yerleştirilmesi durumunda perde duvarın taşıdığı kesme kuvveti ve moment değerinde artış meydana gelmiştir. Diğer tüm modellerde perde duvarın dış akslara yerleştirilmesi ile perde duvara ait kesme kuvveti ve moment değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ancak binada dikkat edilmesi gereken bir husus perde duvarın iç ve dış akslara yerleştirilmesi durumunda perde rijitliğinin kiriş bağlantılarından dolayı aynı olmamasıdır.

Perde duvarlar için elde edilen en büyük moment değeri birinci katta ortaya çıkmaktadır. Birinci katta bulunan perde duvarların taşıdığı toplam moment; deprem etkisinde ortaya çıkan devrilme momentine oranlanarak Tablo 2’de verilmiştir. Aynı tabloda, her bir model için elde edilen hedef yerdeğiştirme istem seviyesindeki kat kesme kuvveti değerleri ve bu kesme kuvvetinin perde duvarlar ve kolonlar arasındaki paylaşım miktarları da sunulmuştur. Devrilme momenti Eşt. 5 ile hesaplanmıştır. Burada, M_o , devrilme momentini; H_N , bina yüksekliğini ve V_{hedef} , hedef yerdeğiştirme seviyesindeki taban kesme kuvvetini ifade etmektedir. Burada, doğrusal olmayan davranış esnasında depremin üçgen yayılı dağılışının değişmediği kabul edilmiştir.

$$M_o = V_{hedef} \cdot \frac{2H_N}{3} \quad (5)$$

Tablo 2. Perdelerin taşıdığı kesme kuvveti ve moment oranları

Bina Modeli	V_{hedef} (kN)	$V_{çerçeve}$ (kN)	V_{perde} (kN)	V_{perde}/V_{hedef} (%)	M_o (kNm)	M_{perde} (kNm)	M_{perde}/M_o (%)
Model 2_A2_P2	1550	783	767	49	24798	2710	11
Model 3_A2_P2	1513	895	617	41	24201	2596	11
Model 4_A2_P4	1691	688	1002	59	27051	4401	16
Model 5_A2_P4	1786	576	1210	68	28569	5100	18
Model 7_A4_P6	4918	2951	1967	40	78681	7317	9
Model 8_A4_P6	5088	2764	2324	46	81406	8938	11

Binanın hedef yerdeğiştirme istem seviyesinde, perde duvarlar toplam kesme kuvvetinin % 40 ile % 68 arasındaki miktarını taşımaktadır. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi perde yeri değişiminin $\sum M_{perde}/M_o$ oranı üzerindeki etkinliği oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Perde duvarın dış aksa yerleştirilmesi iki açıklıklı dört perdeli ve dört açıklıklı altı perdeli modellerde bu oranı %2 seviyesinde düşürürken iki açıklıklı iki perdeli modellerde herhangi bir değişime neden olmamıştır.

Tüm model binaların performans değerlendirmesi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için yapılmıştır. Model binalarda, birinci kattaki düşey taşıyıcı elemanlara ait hasarın yüzdesel dağılımı ve elde edilen performans seviyeleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Hasar dağılımı ve bina performans seviyesi sonuçları

Model	Minimum Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme Bölgesi	Performans Seviyesi
Model 1_A2_Ç	-	69	31	-	Göçme Öncesi
Model 2_A2_P2	-	100	-	-	Can Güvenliği
Model 3_A2_P2	-	100	-	-	Can Güvenliği
Model 4_A2_P4	-	100	-	-	Can Güvenliği
Model 5_A2_P4	-	100	-	-	Can Güvenliği
Model 6_A4_Ç	-	-	22	78	Göçme Durumu
Model 7_A4_P6	-	93	7	-	Can Güvenliği
Model 8_A4_P6	-	100	-	-	Can Güvenliği

Konut türü binalardan beklenen performans hedefi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için “Can Güvenliği” seviyesidir. Çalışma kapsamında yapılan incelemelerde model olarak; aksları düzenli ve simetrik plana sahip çerçeve binalar seçilmesine rağmen, hedef performans seviyesinin sağlanmadığı görülmüştür. Sisteme perde duvar yerleştirilmesi ile tüm modellerde, hedef performans seviyesi sağlanmıştır. Dolayısıyla yüksek katlı binaların alt sınırı olarak belirtebileceğimiz sekiz katlı binaların tasarımında mutlaka perde duvar yerleştirilmesi gerektiği söylenebilir. Perde duvar yerleştirilmesi ile binanın performans seviyesi yükseltilebilmektedir. Tablo 3’te elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, perde duvar yerleştirilmesi ile düşey taşıyıcı elemanların hasarının azaldığı görülmüştür. Perde yerinin değişiminin ise, eleman hasar yüzdesinde ve bina performans seviyesinde önemli bir etkisi olmamıştır.

4. Sonuç

Yapılan çalışmada kapsamında; farklı açıklık sayısına sahip konut türü sekiz katlı, simetrik ve düzenli taşıyıcı sisteme sahip betonarme çerçeve binalar model olarak seçilmiştir. Bu binalara farklı miktar ve yerleşimde perde duvarlar ilave edilerek perdeli-çerçeve taşıyıcı sistemler oluşturulmuştur. Tüm model binaların deprem performans değerlendirmeleri doğrusal elastik olmayan yöntemlerden “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çözümlerden elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. Bina planına yerleştirilen perde duvar miktarının artması ile kat kesme kuvveti kapasitesinde ve V/W oranında artış meydana gelmiştir.

2. Betonarme perde duvarların bina planındaki yerinin değişiminin, binanın kapasite eğrisi üzerindeki etkinliği oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Perde duvarların iç ya da dış aksa yerleştirilmesi, binanın kesme kapasitesinde en fazla %2 oranında bir değişime neden olmuştur. Açıklık sayısının fazla olduğu modelde bu etki neredeyse hiç gözlenmemiştir.

3. Perde miktarının artması ile bina doğal titreşim periyodu ve hedef yerdeğiştirme istem değerleri beklendiği gibi azalmaktadır. Aynı perde miktarına sahip ancak plandaki yerleşimleri farklı olan bina modellerinin periyod ve hedef yerdeğiştirme istem değerleri, iki açıklıklı iki perdeli modellerde perde duvarın iç akslara yerleştirildiği, iki açıklıklı dört perdeli ve dört açıklıklı altı perdeli modellerde ise dış akslara yerleştirildiği binalarda daha büyük olarak elde edilmiştir. Periyod ve hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin daha büyük olarak elde edildiği tüm modeller incelendiğinde, perde duvara bağlı olan giriş elemanlarının sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, aynı miktarda ancak tek taraftan giriş bağlantısı bulunan perde duvara sahip sistemlerde iki taraftan giriş bağlantısı bulunan sistemlere göre, yanal ötelenme rijitliği daha az olduğundan sistemin periyodu ve hedef yerdeğiştirme istem değerleri daha büyük olarak elde edilmektedir. Buradan aynı miktarda perde duvara sahip binalarda perde duvara bağlantısı sağlanan girişlerin sayısının ve rijitliğinin önemli olduğu söylenebilir.

4. Aynı gözlemler perde duvarların taşıdığı toplam kesme kuvveti ve moment değerleri için de söylenebilir. Sadece 2x2 açıklığa ve iki adet perde duvara sahip modelde, perde duvarların dış aksa yerleştirilmesi durumunda, perde duvarın taşıdığı kesme kuvveti ve moment değerinde artış meydana gelmiştir. Diğer tüm modellerde perde duvarın iç akslara yerleştirilmesi durumunda kesme kuvveti ve moment değerlerinde artma meydana gelmiştir. Bu farklılık yine perde duvara deprem doğrultusunda bağlı olan giriş sayısı ile ilgilidir.

5. Perde duvarlar için elde edilen kesme kuvveti, bazı durumlarda alt katta üst kattan daha küçük olarak elde edilmektedir. Bunun nedeni alt kattaki perdede plastik mafsallı oluşumundan dolayı rijitliğinin azalması ve kattaki kuvvet dağılımının değişerek perde duvar üzerine etki eden kesme kuvvetinin azalmasıdır.

6. Binanın hedef yerdeğiştirme istem seviyesinde, perde duvarlarda elde edilen momentin en büyük değeri birinci katta ortaya çıkmaktadır. Perdeli çerçeve binalardaki perde duvar moment değeri, çerçevenin etkisi ile üst katlarda işaret değiştirmektedir.

7. Hedef yerdeğiştirme istem seviyesindeki birinci kat kesme kuvvetinin oluşturduğu toplam devrilme momentinin %9 ile %18 arasındaki miktarı perde duvarlar tarafından karşılanmıştır. Perdelerin karşıladığı momentin toplam devrilme momentine oranının ($\sum M_{perde}/M_o$) en büyük değeri, iki açıklıklı dört perdeli sistemde elde edilmiştir. Bunun nedeni, toplam perde momentindeki artışın devrilme momentindeki artıştan daha fazla olarak elde edilmesidir. Kat alanının büyümesi, kolon sayısı ve kat kesme kuvveti kapasitesinin artmasına dolaylı olarak devrilme momentinin artmasına neden olmaktadır. Burada, Model 7 ve Model 8’de perde miktarı ve perdelerin taşıdığı toplam moment değeri en büyük olmasına rağmen, kat kesme kuvvetine bağlı olarak devrilme momenti değeri de arttığı için, $\sum M_{perde}/M_o$ oranı yine %10 mertebesinde elde edilmiştir.

8. Yapılan çözümlerde sekiz katlı ve taşıyıcı sistemi salt çerçeve olarak oluşturulan bina modellerinin hiçbirinin hedef performans seviyesini sağlamadığı görülmüştür. Bina planına simetrik olarak perde duvar yerleştirilmesi, performans seviyesinin hedef performans seviyesine yükseltilmesini sağlamıştır. Dolayısıyla perde miktarı ve yerleşimi değiştirilen tüm bina çözümlerinde, “Can Güvenliği” performans seviyesi elde edilmiştir. Perde duvar yerinin değişiminin, eleman hasar yüzdelerinde ve bina performans seviyesinde önemli bir etkisi olmamıştır.

Kaynakça

- Aktan, S., & Kırac, N. (2010). Betonarme Binalarda Perdelerin Davranışa Etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi , 15-32.
- Aracı, E. (2012). Yüksek Lisans Tezi. Betonarme Perde Konularının Bina Deprem Performansına Olan Etkisinin Bilgisayar Destekli İrdelenmesi. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atımtay, E. (2000). Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar) (Cilt 1 ve 2). Ankara: Bizim Büro Basımevi Yayın Dağıtım San. Tic. Ltd. Şti.
- Atımtay, E. (2001). Çerçeve ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı , Temel Kavramlar Ve Hesap Yöntemleri (Cilt 1 ve 2). Ankara: METU Press.
- BESAM, Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme (2013). Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu, Proje No, 111M119.
- DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. ANKARA: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- DELOP, Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme (2013). Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu, Proje No, 111M119.
- Fahjan, Y. M., Başak, K., Kubin, J., & Tan, M. T. (2011). Perdeli Betonarme Yapılar İçin Doğrusal Olmayan Analiz Metodları. Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı. İstanbul.

- Firoozabad, E., Rao, K., & Bagheri, B. (2012). Proc. of Int. Conf. on Advances in Civil Engineering. Effect of Shear Wall Configuration on Seismic Performance of Building, (s. 121-125).
- Günel, A. O. (2013). Yüksek Lisans Tezi. Influence of the Shear Wall Area to Floor Area Ratio on the Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Halkude, S., Konapure, C., & Birajdar, S. (2015). Effect of Location of Shear Walls on Seismic Performance of Buildings. International Journal of Current Engineering and Technology , 826-833.
- Kasap, H., & Varol, C. (2003). Perdeli-Çerçevesiz Sistemlerde Planda Perde Yerinin Değişmesinin Perdeler ve Çerçeveler Arasındaki Kesme Kuvveti Dağılımına Etkisi. SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7((1)), 190-197.
- Kasap, H., Mert, N., Sevim, E., & Şeber, B. (2015). Perdeli-Çerçevesiz Taşıyıcı Sistemli Binalarda Taşıyıcı Sistem Seçiminin Yapı Davranışı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. APJES III-I, 3(1), 48-55 .
- Öztürk, A., Çağlar, N., Dok, G., & Yüksel, M. (2017). Fifth International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science. Betonarme Perdelerin Betonarme Yüksek Yapıların Deprem Performansına Etkisi, (s. 1883-1892). Bakü-Azerbaycan.
- Öztürk, T. (2005, Nisan). İMO İstanbul Şubesi 2005 İlkbahar-Yaz Dönemi Mesleki Eğitim Kursları. Betonarme Binalarda Deprem Perdelerinin Yerleşimi ve Tasarımı.
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Structures. United States of America: John Wiley & Sons Inc.
- Rokanuzzaman, M., Khanam, F., Das, A., & Chowdhury, S. (2017). Effective Location of Shear Wall on Performance of Building Frame Subjected to Lateral Loading. International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, 51-54.
- Sakcalı, G. B., Tekeli, H., & Demir, F. (2017). Betonarme Binalardaki Perde Duvar Miktarının Bina Performansına Etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 157-167.
- SAP 2000, Structural Analysis Program, (2011). Computers and Structures, Inc., v.17.0.0., Berkeley, CA, United States of America.
- Sayın, E., Yön, B., & Calayır, Y. (2010). Perde Konumunun ve Zemin Sınıfının Betonarme Yapılardaki Hasar Oranına Etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(1), 1-6.
- Şahin, H., Alyamaç, K., & Erdoğan, A. (2013). Perdeli Çerçevesiz Yapılarda Zemin Sınıfı ve Kat Adedi Dikkate Alınarak Gerekli Perde Oranının Tespiti. SDU International Technologic Science, 74-86.
- Uçar, T., & Merter, O. (2009). Planda Perde Yerleşiminin Betonarme Perde-Çerçevesiz Binaların Deprem Davranışına Etkisi. DEÜ
- Yaman, S. (2018). Yüksek Lisans Tezi. Perde Duvarlı Betonarme Binaların Deprem Güvenliği. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yüksel, M., Çağlar, N., Dok, G., & Demir, A. (2017). Fifth International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science. Betonarme Yüksek Yapıların Deprem Performansına Betonarme Perde Oranının Etkisi, (s. 1893-1901). Bakü-Azerbaycan.



Efficient Method for the Solution of Fractional-order Differential Equations with Variable Coefficients

Arzu Turan Dincel^{1*}

¹ Yildiz Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Mathematical Engineering Department, Istanbul-Turkey (ORCID: 0000-0002-0416-1878)

(First received 30 March 2019 and in final form 15 May 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.547166)

ATIF/REFERENCE: Turan Dincel, A. (2019). Efficient Method for the Solution of Fractional-order Differential Equations with Variable Coefficients. *European Journal of Science and Technology*, (16), 205-210.

Abstract

In this paper, we propose the Bernoulli wavelet approximation for the solution of the fractional differential equations with variable coefficients. In the proposed method, the fractional derivatives are transformed using the operational matrix of fractional order integration and by doing that differential equation reduces to a system of algebraic equations. The operational matrix of fractional order integration is obtained via block pulse functions. Illustrative examples are presented. The examples demonstrate that the method is accurate and efficient.

Keywords: Bernoulli wavelet, Fractional-order differential equations with variable coefficients, Caputo derivative, Operational matrix.

1. Introduction

The fractional calculus is a branch of applied mathematics focused on derivatives and integrals to any arbitrary order of real or complex numbers. It is used to model several real-life phenomena in many fields of engineering and science. For example, fractional calculus or differential equations applied to model the mechanics and dynamical systems (Cajić, Karličić and Lazarević, 2015; Wang et al., 2017) and, environmental sciences (Moradi and Mehdinejadi, 2018; Sun et al., 2014) signal and image processing (Li and Yu, 2006; Chen, Chen and Xue, 2013; Nigmatullin, Osokin and Toboev, 2011), colored noise (Mandelbrot, 1967), macroeconomics models (Tarasova and Tarasov, 2017), biology (Karaman et al., 2016), materials (Lei, Liang and Xiao, 2018), optimal control (Karimi et al., 2005) and so on.

However, many of these fractional differential equations do not have analytical solutions, therefore various numerical algorithms are developed. Homotopy analysis method was applied to solve fractional initial value problem by Hashim, Abdulaziz and Momani, 2009. Differential transform method was presented by Arikoglu and Ozkol, 2009. Homotopy perturbation method was studied by Khader, 2017; Li and Sun, 2011. The Laplace transform method was examined by Gupta, Kumar and Singh, 2015.

In this paper, we use Bernoulli wavelet method to solve the fractional differential equations with variable coefficients in the form:

$$D^\alpha y(t) + \sum_{j=1}^{r-1} \gamma_j(t) D^{\beta_j} y(t) + \gamma_r(t) y(t) = g(t), \quad t > 0, \quad n < \alpha \leq n+1 \quad (1)$$

$$y^i(0) = 0, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

where α is the fractional derivative-order parameter, $0 < \beta_1 < \beta_2 < \dots < \beta_{r-1} < \alpha$, n is an integer and D^α is the Caputo fractional differential operator. This method presents a procedure to reduce the fractional differential equations to a system of algebraic equations by using a family of Bernoulli wavelets. The organization the paper is as follows: Section 2 includes some necessary definitions of the fractional calculus. In Section 3, after explaining Bernoulli wavelets, the Bernoulli wavelet operational matrix of the fractional

* Corresponding Author: Yildiz Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Mathematical Engineering Department, Istanbul-Turkey (ORCID: 0000-0002-0416-1878), e-mail: artur@yildiz.edu.tr

integration is derived. In Section 4, we present the numerical method to solve the fractional order differential equations. Numerical example results are provided in Section 5. Last section includes concluding remarks.

2. Basic Definitions

Definition 2.1 The Riemann-Liouville fractional integral operator of order α is defined as:

$$(I^\alpha f)(t) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{1-\alpha}} d\tau & \alpha > 0, t > 0 \\ f(t) & \alpha = 0 \end{cases}. \tag{3}$$

Definition 2.2 The Caputo definition of fractional derivative operator is defined by the following expression

$$(D^\alpha f)(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \int_0^t \frac{f^{(n)}(\tau)}{(t-\tau)^{1-n+\alpha}} d\tau \quad 0 \leq n-1 < \alpha \leq n. \tag{4}$$

It has the basic properties of:

$$(D^\alpha I^\alpha f)(t) = f(t) \text{ and } (I^\alpha D^\alpha f)(t) = f(t) - \sum_{k=0}^{n-1} f^{(k)}(0^+) \frac{t^k}{k!}. \tag{5}$$

3 Bernoulli Wavelet and Operational Matrix of the Fractional Integration

3.1 Bernoulli polynomial and Bernoulli wavelets

Let $\beta_m(t)$ denote the Bernoulli polynomials of order m , which is given by Rahimkhani, Ordokhani and Babolian, 2016

$$\beta_m(t) = \sum_{i=0}^m \binom{m}{i} \alpha_{m-i} t^i \tag{6}$$

where $\alpha_i, i = 1, 2, \dots, m$ are Bernoulli numbers. These polynomials satisfy the following orthogonality condition (Rahimkhani, Ordokhani and Babolian, 2016).

$$\int_0^1 \beta_n(t) \beta_m(t) dt = (-1)^{n-1} \frac{m!n!}{(m+n)!} \alpha_{n+m}, \quad m, n \geq 1 \tag{7}$$

The Bernoulli wavelets are defined on interval $[0,1)$ by

$$\psi_{nm}(t) = \begin{cases} 2^{\frac{k-1}{2}} \tilde{\beta}_m(2^{k-1}t - \tilde{n}) & , \quad \frac{\tilde{n}}{2^{k-1}} \leq t < \frac{\tilde{n}+1}{2^{k-1}} \\ 0 & , \quad \text{otherwise} \end{cases} \tag{8}$$

with

$$\tilde{\beta}_m(t) = \begin{cases} 1 & , \quad m = 0 \\ \frac{1}{\sqrt{\frac{(-1)^{m-1} (m!)^2}{(2m)!} \alpha_{2m}}} \beta_m(t) & , \quad m > 0 \end{cases} \tag{9}$$

where $\tilde{n} = n-1, n = 1, 2, \dots, 2^{k-1}, m = 0, 1, 2, \dots, M-1, k$ is any positive integer value, t is the normalized time (Rahimkhani, Ordokhani and Babolian, 2016).

3.2 Function approximation

A function f defined over $[0,1)$ may be expressed with Bernoulli wavelets as

$$f(t) = \sum_{n=1}^{2^{k-1}} \sum_{m=0}^{M-1} c_{nm} \Psi_{nm}(t) = C^T \psi(t) \tag{10}$$

where C and $\psi(t)$ are $m' \times 1$ ($m' = 2^{k-1} M$) vectors defined by

$$C = \left[c_{10}, c_{11}, \dots, c_{1(M-1)}, c_{20}, c_{21}, \dots, c_{2(M-1)}, \dots, c_{2^{k-1}0}, c_{2^{k-1}1}, \dots, c_{2^{k-1}(M-1)} \right]^T \tag{11}$$

$$\Psi = \left[\Psi_{10}, \Psi_{11}, \dots, \Psi_{1(M-1)}, \Psi_{20}, \Psi_{21}, \dots, \Psi_{2(M-1)}, \dots, \Psi_{2^{k-1}0}, \Psi_{2^{k-1}1}, \dots, \Psi_{2^{k-1}(M-1)} \right]^T \tag{12}$$

The Bernoulli wavelet matrix is defined as

$$\phi_{m'xm'} = \left[\Psi(t_1) \ \Psi(t_2) \ \Psi(t_3) \ \dots \ \Psi(t_{m'}) \right] \tag{13}$$

where t_i are collocation points. We take the collocation points as $t_i = \frac{i-0.5}{m'}$, $i = 1, 2, 3, \dots, m'$.

3.3 Operational matrix of the fractional integration

We present the operational matrix of fractional order integration using the Block Pulse Functions (BPFs). The set of BPFs is defined as

$$b_i(t) = \begin{cases} 1 & (i-1)/m' \leq t < i/m' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m' \tag{14}$$

For $t \in [0, 1)$, following properties for these functions will be used in this paper

$$b_i(t)b_j(t) = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ b_i(t) & i = j \end{cases}, \tag{15}$$

$$\int_0^1 b_i(\tau)b_j(\tau) d\tau = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ 1/m' & i = j \end{cases}. \tag{16}$$

The Bernoulli wavelet may be expanded to an m' terms BPFs as

$$\psi(t) = \phi_{m'xm'} B_{m'}(t) \tag{17}$$

where $B_{m'}(t) = [b_1(t), b_2(t), \dots, b_{m'}(t)]^T$. The fractional integral of BPFs vector can be expressed as

$$(I^\alpha B_{m'})(t) \approx F^\alpha B_{m'}(t) \tag{18}$$

where F^α is given with the Bernoulli wavelet operational matrix of the fractional integration $P_{m'xm'}^\alpha$ (Kilicman, 2007):

$$P_{m'xm'}^\alpha \approx \phi_{m'xm'} F^\alpha \phi_{m'xm'}^{-1}. \tag{19}$$

The convergence analysis of the Bernoulli wavelet basis can be found in the study of Rahimkhani, Ordokhani and Babolian, 2016.

4 Numerical Method

To solve problem (1) and (2) we approximate $D^\alpha y(t)$ and $g(t)$ by the Bernoulli wavelet as

$$D^\alpha y(t) \approx C^T \psi(t), \quad g(t) \approx G^T \psi(t) \tag{20}$$

where $G = [g_0, g_1, \dots, g_{m'-1}]^T$. Taking the initial conditions into account, we obtain

$$D^{\beta_j} y(t) \approx C^T P_{m'xm'}^{\alpha-\beta_j} \psi(t), \quad y(t) \approx C^T P_{m'xm'}^\alpha \psi(t) \tag{21}$$

by substituting Eqs. (20) and (21) in Eq. (1) we get a system of algebraic equations as follows:

$$C^T \psi + \sum_{j=1}^{r-1} C^T P_{m'xm'}^{\alpha-\beta_j} \psi A_j + C^T P_{m'xm'}^{\alpha} \psi A_r = G^T \psi \tag{22}$$

where $A_i = \begin{bmatrix} \gamma_i(t_0) & 0 & L & 0 \\ 0 & \gamma_i(t_1) & L & 0 \\ M & M & O & M \\ 0 & 0 & L & \gamma_i(t_{m'}) \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, r.$

The Newton-Raphson iteration method is used to solve the system of algebraic equations and the unknown coefficient values of C^T , and thus the approximate solution $y(t)$ are obtained.

5 Illustirative Examples

In this section, we demonstrate some numerical examples to show the efficiency and the accuracy of the presented method. The numerical results are obtained using Matlab R2017a.

Example 5.1: We first consider the following nonlinear fractional differential equation (Atabakzadeh, Akrami and Erjaee, 2013)

$$t^{7/2} D^{3/2} y(t) + D^2 y(t) + y^2(t) = \left(1 + \frac{4}{\sqrt{\pi}}\right) t^4 + 2, \quad y(0) = y'(0) = 0, \quad t \in [0, 1]$$

whose exact solution is given by $y(t) = t^2$.

Using the method presented in Section 4, we obtain the approximate solution of the fractional differential equation given above. The comparison of the method and exact solutions for $k = 2$ and $M = 3$ are shown in Figure 1. It is obvious that the numerical solutions are in perfect agreement with the exact solutions.

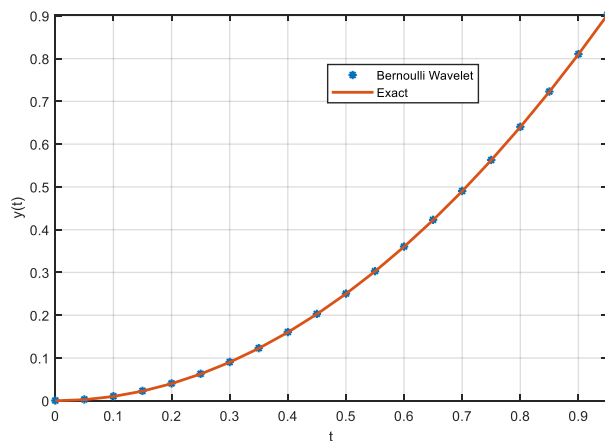


Figure 1. Bernoulli wavelet and the exact solution for Example 1.

Table 1. Comparison of the absolute errors for Example 1

t	Present method				Chebyshev operational matrix method (Atabakzadeh, Akrami and Erjaee, 2013)		
	k = 3	k = 5	k = 6	k = 8	N = 2	N = 3	N = 4
0.2	5.75E-04	3.62E-05	9.04E-06	5.65E-07	3.3E-3	2.2E-3	8.8E-4
0.4	5.66E-04	3.60E-05	9.01E-06	5.63E-07	1.3E-2	9.6E-3	7.1E-3
0.6	5.47E-04	3.54E-05	8.87E-06	5.55E-07	2.9E-2	1.3E-2	3.5E-3
0.8	5.13E-04	3.40E-05	8.54E-06	5.34E-07	5.3E-2	4.2E-2	2.8E-2

In Table 1, we present the absolute errors for several k values of Bernoulli wavelet method and Chebyshev operational matrix method (Atabakzadeh, Akrami and Erjaee, 2013). Numerical results of this initial value problem show that our method is more accurate than the Chebyshev operational matrix method.

Example 5.2 Consider the following initial value problem

$$D^{3/2}y(t) - t^{3/2}y(t) = 4\sqrt{\frac{t}{\pi}} + t^{7/2} \quad y(0) = y'(0) = 0, t \in (0, 1]$$

with the exact solution of $y(t) = t^2$.

Again, using the method presented in Section 4, we obtain the approximate solution of the fractional differential equation given above. Table 2 shows absolute errors for $k = 3, 4, 5, 6, 7$ and $M = 3$. Moreover, the comparison of the numerical solutions and the exact solutions for $k = 2$ and $M = 3$ are plotted in Figure 2. As can be seen, numerical results demonstrate the accuracy of our method.

Table 2. The absolute errors of the Bernoulli wavelet method for $\alpha = 1$ and various k values

t	Exact	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$	$k = 6$	$k = 7$
0.1	0.01	7.91E-05	1.98E-05	4.94E-06	1.24E-06	3.09E-07
0.2	0.04	1.57E-04	5.01E-05	1.61E-05	5.29E-06	1.76E-06
0.3	0.09	2.01E-04	6.47E-05	2.12E-05	7.06E-06	2.38E-06
0.4	0.16	2.33E-04	7.59E-05	2.51E-05	8.43E-06	2.87E-06
0.5	0.25	2.61E-04	8.56E-05	2.85E-05	9.63E-06	3.29E-06
0.6	0.36	2.88E-04	9.48E-05	3.17E-05	1.08E-05	3.69E-06
0.7	0.49	3.14E-04	1.04E-04	3.49E-05	1.19E-05	4.08E-06
0.8	0.64	3.41E-04	1.13E-04	3.82E-05	1.30E-05	4.48E-06
0.9	0.81	3.71E-04	1.23E-04	4.17E-05	1.42E-05	4.91E-06

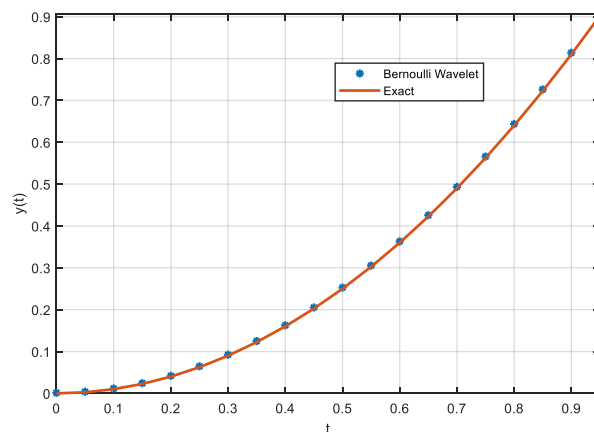


Figure 2. Bernoulli wavelet and the exact solution for Example 2.

6 Conclusion

In this paper, we intend to develop an accurate and effective method to solve the fractional differential equations with variable coefficients. To this end, the Bernoulli wavelet operational matrix of fractional order integration is used to approximate the fractional derivatives and to convert the fractional differential equations with variable coefficients into a system of algebraic equations. By solving the system of algebraic equations, we obtain the approximate solutions of the fractional differential equations. Since this transformation uses orthogonal wavelets, the corresponding operational matrix of fractional integration is a sparse matrix, which greatly contributes to have a fast and efficient solution method. The block pulse functions are employed to obtain the operational matrix of fractional order integration. Numerical results are presented to demonstrate the accuracy and the efficiency of the method.

References

- Atabakzadeh M.H., Akrami M.H., & Erjaee G.H. (2013) Chebyshev operational matrix method for solving multi order fractional ordinary differential equations. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 8903-8911.
- Arikoglu A., & Ozkol I. (2009), Solution of fractional integro-differential equations by using fractional differential transform method, *Chaos, Solitons & Fractals*, 40, 521-529.
- Cajić, M., Karličić D., & Lazarević M. (2015) Nonlocal vibration of a fractional order viscoelastic nanobeam with attached nanoparticle. *Theoretical and Applied Mechanics*, 42(3), 167-190.
- Chen D., Chen Y., & Xue D. (2013) Three fractional-order TV-models for image de-noising. *Journal of Computer Information Systems*, 9 (12), 4773-4780.
- Gupta, S., Kumar, D., & Singh, J. (2015) Numerical study for systems of fractional differential equations via Laplace transform. *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 23, 256–262.
- Hashim I., Abdulaziz O., & Momani S. (2009) Homotopy analysis method for fractional IVPs. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14, 674–684.
- Karaman M.M., Sui Y., Wang H., R.L. Magin, Li Y., & Zhou X.J. (2016) Differentiating low- and high-grade pediatric brain tumors using a continuous-time random-walk diffusion model at high b-values. *Magnetic Resonance in Medicine*, 76, 1149-1157.
- Karimi H., Moshiri B., Lohmann B., Maralani P. (2005) Haar wavelet-based approach for optimal control of second-order linear systems in time domain, *Journal of Dynamical and Control Systems*, 11, 237–252.
- Khader M.M. (2017), Application of homotopy perturbation method for solving nonlinear fractional heat-like equations using Sumudu transform, *Scientia Iranica B*, 24, 648-655.
- Kilicman A. (2007) Kronecker operational matrices for fractional calculus and some applications. *Applied Mathematics and Computation*, 187, 250-265.
- Lei D., Liang Y., & Xiao R. (2018) A fractional model with parallel fractional maxwell elements for amorphous thermoplastics. *Physics A*, 490, 465-475.
- Li Y., & Yu S.L. (2006) Fractional order difference filters and edge detection. *Opto-Electronic Engineering*, 33(19), 71-74.
- Li Y.L., & Sun N. (2011) Numerical solution of fractional differential equations using the generalized block pulse operational matrix, *Computers & Mathematics with Applications* 62 (3), 1046-1054.
- Mandelbrot B. (1967) Some noises with 1/f spectrum, a bridge between direct current and white noise. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(2), 289–98.
- Moradi G., & Mehdinejadi B. (2018) Modeling solute transport in homogeneous and heterogeneous porous media using spatial fractional advection–dispersion equation. *Soil and Water Research*, 13, 18–28.
- Nigmatullin R. R., Osokin S.I., & Toboev V.A. (2011) NAFASS: Discrete spectroscopy of random signals. *Chaos Solitons Fract*, 44, 226-240.
- Rahimkhani P., Ordokhani Y. & Babolian E. (2016) An efficient approximate method for solving delay fractional optimal control problems. *Nonlinear Dynamics*, 86, 1649–1661.
- Sun H.G., Zhang Y., Chen W. & Reeves D.M. (2014) Use of a variable-index fractional-derivative model to capture transient dispersion in heterogeneous media. *Journal of Contaminant Hydrology*, 157, 47–58.
- Tarasova V.V., & Tarasov V.E. (2017) Logistic map with memory from economic model. *Chaos, Solitons and Fractals*, 95, 84-91.
- Wang X., Qi H., Yu B., Xiong Z., & Xu H. (2017) Analytical and numerical study of electroosmotic slip flows of fractional second grade fluids. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 50, 77-87.



Konfeksiyon Paketleme Biriminde İki El Hareket Analizi Uygulaması ile Verimliliğin Arttırılması

Can Ünal¹, Nurgül Levent²

¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7885-7720)

² Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8919-5179)

(İlk Geliş Tarihi 12 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 15 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.553264)

ATIF/REFERENCE: Ünal, C. & Levent, N. (2019). Konfeksiyon Paketleme Biriminde İki El Hareket Analizi Uygulaması ile Verimliliğin Arttırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 211-218.

Öz

Metot mühendisliği, bir iş merkezi geliştirmek, bir ürün üretmek veya hizmet sağlamak için sistematik bir prosedür kullanmaktır. Söz konusu prosedür; projenin seçimi, verilerin toplanması, veri analizi, ideal yöntemin geliştirilmesi, yöntemin oturtulması, iş analizi, zaman standartlarının oluşturulması ve takip edilmesi olmak üzere sekiz adımdan oluşmaktadır. Bu çalışmada, ideal yöntemin geliştirilmesi için ev tekstili paketleme bölümünde, iki el hareket analizi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Toplamda üç farklı model ve on çalışan üzerinde yapılan uygulama sonucunda, üç model için çalışanların el hareketleri incelenmiş, verimsiz hareketlerin azaltılması için hem çalışanların hareket prensiplerinde hem çalışma masası düzenlerinde çeşitli değişiklikler önerilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma süresince kullanılan iki el hareket analiz şeması yardımıyla, paketleme işleminin sürelerinde Model 1 için %34,7, Model 2 için %35,08 ve Model 3 için %29,64 iyileşme sağlanmıştır. Bunların yanı sıra çalışanların hareketlerini hızlandırmak için yeni bir çalışma masası tasarımı oluşturulmuş, bu tasarımlar teknik resimle gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ev tekstili, verimlilik, iki el hareket analizi, metot mühendisliği.

Efficiency Improvement with Two Hand Activity Analysis in Packing Department of Apparel Industry

Abstract

Method engineering is to use a systematic procedure to develop a work center, produce a product, or provide services. This procedure consists of eight steps: the selection of the project, data collection, data analysis, development of the ideal method, setting the method, job analysis, establishing time standards and following up the method. In this study, two hand motion analysis applications were carried out in the home textile packaging department in order to develop the ideal method. As a result of the application on three different models and ten employees in total, the hand movements of the employees were examined for three models, and in order to reduce the inefficient movements, various changes were proposed both in the principles of movement of the employees and in the work table arrangements. With the help of two hand motion analysis schemes used during the study, process times are reduced 34,7% for Model 1, 35,08% for Model 2 and 29,64% for Model 3. In addition to this, a new design of the work desk has been created to accelerate the movement of the employees and these designs are shown with the technical drawing.

Keywords: Home textiles, efficiency, two-hand activity analysis, method engineering.

1. Giriş

Ev tekstili, genel olarak evleri dekore etmek amacıyla kullanılan ürünler olarak tanımlanmaktadır. Sentetik iplikler ve kumaşların yanı sıra, pamuk, keten, ipek ve yün gibi doğal ipliklerden yapılan kumaşlar da sektörün ham maddeleri arasındadır. Bu sektör kapsamına giren ürünler döşemelik ve perdelik kumaş, yatak örtüleri ve diğer mefruşat eşyası, yatak çarşafı, tüller ve danteller, battaniyeler, masa örtüleri, yastık, yorgan ve uyku tulumları, eliş duvar halıları, havlu ve bornozlar, perdeler ve yatak farbalaları, yatak çarşafı, diğer ev tekstili ürünleri şeklinde sınıflandırılmaktadır. 2015 yılı ihracat verilerine göre ev tekstilinde yatak ve çarşaf ürünleri ihracatı %25,5'lik pay ile havlu ve bornoz ürünlerinden sonra ikinci sırada olup, toplam ihracat değeri 500 milyon dolar seviyesindedir (Ev Tekstil Sektörü, 2016).

Tüm işletmelerde olduğu gibi hazır giyim işletmelerinde de verimsizliği ortaya çıkaran 3 temel faktör söz konudur. Bunlar üretim faktörleri olarak adlandırılan; insan, makine ve malzeme olarak sıralanabilir. Üretim faktörlerinin birbirleriyle etkileşim halinde bulunmaları süreci incelendiğinde bu faktörlerin her birinin ayrı ayrı optimum verimliliği sağlayacak şekilde bir araya gelmeleri gerekmektedir. Çünkü her durumda bu 3 faktörden birinde karşılaşılan sorun diğerlerinin de verimliliğini olumsuz yönde etkileyecektir (Kayar 2008). Metot mühendisliği, insanın performans ve gereksinimlerini de dikkate alarak, iş sistemlerinin amaca uygun organizasyonu yoluyla, insan, üretim aracı ve üzerinde çalışılan nesne arasında göreve uygun bir ortak etkimenin sağlanmasıdır (Akal 2004).

Metot mühendisliği, bir iş merkezi geliştirmek, bir ürün üretmek veya hizmet sağlamak için sistematik bir prosedür kullanır. Söz konusu prosedür; projenin seçimi, verilerin toplanması, veri analizi, ideal yöntemin geliştirilmesi, yöntemin oturtulması, iş analizi, zaman standartlarının oluşturulması ve takip edilmesi olmak üzere sekiz adımdan oluşmaktadır (Freivalds & Niebel, 2014). Metot etüdü çalışmalarına ülkemizde çeşitli alanda rastlanmak mümkündür. Traktör imalatı (Yaman ve ark. 2008), mobilya sektörü (Hacıhasanoğlu, 2014) (Dizdar ve Özen, 2001), otomotiv üretimi (Ertaş ve Kızılaslan, 2015), lojistik sektörü (Aladağ ve ark. 2018) son dönemde gerçekleştirilen çeşitli çalışmaların hedef alanlarıdır. Bu çalışmada, ideal yöntemin geliştirilmesi için ev tekstili paketleme bölümünde, iki el hareket analizi uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın devamı şu aşamalardan oluşmaktadır; Materyal ve metot bölümünde, çalışmanın yürütüldüğü işletme, verimlilik kavramı, metot etüdü ve iki el analizi hakkında bilgiler verilmiştir. Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde bir ev tekstili konfeksiyonu işletmesinde iki el analizi uygulaması anlatılmıştır. Paketleme bölümünde, farklı çalışmalar üzerinde gerçekleştirilen uygulama sonucunda elde edilen bulgular analiz edilmiştir. Sonuçlar bölümünde ise paketleme bölümünün daha verimli çalışması için standart metot önerisi geliştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Uygulamanın Gerçekleştirildiği İşletme Hakkında Bilgiler

Uygulamanın gerçekleştirildiği işletme ev tekstili konfeksiyonu alanında faaliyet göstermekte olup, ürünlerin %60'ını ihraç etmektedir. Nevresim ve perde olmak üzere iki ana üretim hattına sahip işletmede yaklaşık 1200 işçi ve 34 yönetici çalışmaktadır. Avrupa'nın önde gelen markalarına kendi tasarımlarını sunmakta ve üretimlerini gerçekleştirmektedir. Metot mühendisliği uygulamaları özellikle konfeksiyonun dikim hatlarında gerçekleştirilen çalışmalar olması nedeniyle, paketleme gibi manuel işlemin yoğun olduğu bölümler sıklıkla göz ardı edilmektedir. İşletmenin üretim mühendislerinin talepleri göz önüne alınarak üç farklı model için iki el hareket analizi uygulaması gerçekleştirilmiştir.

2.2. İki El Analizi ve Analiz Şeması

Bir tezgâhta çalışan işçinin etüdü, metot etüdünün her alanında olduğu gibi, iki el analizi ile başlar. İki el analiz şeması olarak adlandırılan şema, tek bir operatörün genellikle video kaydı çözümlenmelerine dayanarak, ortak bir zaman ölçeği üzerinde, ellerinin (ya da kollarının) etkinliklerinin birbirleri ile ilişkili olarak kaydedildiği, sağ ve sol el hareketlerini inceleyen bir süre şemasıdır. Söz konusu şema simo (simultaneous motion) şeması olarak da bilinir (Smith ve Daniel, 2001).

İki el analiz şeması, süreç şemalarının özel bir şeklidir, dolayısıyla bu şema işçinin hareketli ya da sabit duran ellerinin (bazen ayaklarının) birbirlerine olan durumlarının, zaman göstergesiyle ilişkisini gösterir. Hangi elin ne kadar süre boşa kaldığını görmek açısından faydalıdır. Şema formunun üzerinde zaman göstergesinin bulunmasının yararı, belli bir anda, iki elin birbirine göre ne yaptığını göstermesidir (Meyers ve Stewart, 2002). Literatürdeki çeşitli formlar göz önüne alınarak mevcut çalışma için Şekil 1'deki form geliştirilmiştir. Formda yer alan kısımlar şunlardır; Operatör adı, gözlemci, metot/yöntem, model adı, özet, etkin zaman, kayıp zaman, çevrim zamanı, çalışma alanı düzeni, sol el hareketi, sağ el hareketi, sembol, dakika/saniye.

Kullanılan formun temel amacı; sağ ve sol ele ait etkin ve kayıp zamanları belirleyerek, (aşağıda açıklanan) işyeri ve insan vücudu üzerine temel prensipleri göz önüne alarak, kayıp zamanları olabildiğince minimize etmektir. Bu nedenle, yavaş bir hızda oynatılan video kayıtlarını dikkate alarak, el hareketlerini elementlerine doğru bir şekilde ayırmak son derece önemlidir.

Operatörün Adı :		Özet	Sol el	Sağ el	
Gözlemci :		Etkin zaman			
Metod/Yöntem :		Kayıp zaman			
Model Adı :		Çevrim Zamanı			
Çalışma alanı Düzeni:					
Sol El Hareketi	Sembol	Dakika saniye	Dakika saniye	Sembol	Sağ El Hareketi

Şekil 1: Geliştirilen iki el analizi şeması

Metot etüdü çalışmalarını kayıt aşamasından sonra sırası ile incelemek ve alternatif çözümlerin geliştirilmesi aşamaları takip etmektedir. Bu iki aşamayı birbirinden ayırmak yerine, ikisinin bir arada ele alınması daha uygundur. İnceleme aşamasında sorulacak bazı sorular, alternatif metotların oluşturulmasında kullanılacak bazı yaklaşımların neler olması gerektiğine karar vermeyi kolaylaştırmaktadır. Bu yaklaşımlar günümüzde ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) analizi olarak da bilinmektedir. Şöyle özetlenebilir (Kurt ve Dağdelen 2003);

- “E-Eliminate”; İşin tamamlanmasına katkısı olmayan faaliyetlerin kaldırılması,
- “C-Combine”; İşin bünyesinde bulunan faaliyetlerin veya iş elemanlarının birleştirilmesi,
- “R-Rearrange”; İşin bünyesinde bulunan faaliyetlerin veya iş elemanlarının yapılış sırasının değiştirilmesi,
- “S-Simplify”; İşin bünyesinde bulunan faaliyetlerin veya iş elemanlarının basitleştirilmesi.

Konuyla ilgili en temel yaklaşımlar şu şekilde sınıflandırılabilir (Meyers ve Stewart 2002):

- En kolay elemine edilecek şey ‘bekleme’dir,
- Ard arda gelen iki operasyonu birleştirmek, ‘bekleme’yi elemine eder,
- Bir otomat birçok operasyonun birleştirilmesini sağlar,
- Herhangi bir hammaddenin işlenme alanına yakınlaştırılması en kolay basitleştirme şeklidir.

İşinin işini olanaklar içinde en uygun koşullar altında yapabilmesinde önemli rol oynayan “hareket ekonomisi” ilkeleri deneyler sonucu elde edilmiş ve ilk kez hareket etüdünün kurucusu Frank Gilberth tarafından kullanılmıştır. Gilberth, insan vücudu kullanımı ve iş yerinin düzenlenmesi ile ilgili olarak şu prensipleri ortaya koymuştur.

İnsan vücudunun kullanılması üzerine temel prensipleri şunlardır;

- İki el aynı anda harekete başlamalı ve aynı anda durmalıdır,
- Kolların hareketi simetrik ve zıt yönlü olmalı ve hareketler aynı anda yapılmalıdır,

- El ve bacak hareketleri, işin yeterince yapılabilmesini sağlayabilecek en alt sınıflandırmaya göre yapılmalıdır,
- Momentum, işçinin kolayına gelecek şekilde ayarlanmalı ve adale gücü gerekli yerlerde de en düşük düzeye indirilmelidir,
- Kıvrımlı hareketler, ani ve sert yön değiştirmeleri kapsayan doğrusal hareketlere tercih edilmelidir,
- “Balistik” serbest hareketler, sınırlı ya da kontrollü hareketlerden daha çabuk, daha kolay ve daha doğru olarak yapılır,
- Bir işlemin otomatik olarak yapılmasında ve yumuşaklıkta uyum esastır ve yapılan iş, gerektiği yerde kolay ve doğal bir uyuma olanak verecek şekilde düzenlenmelidir.

- Çalışma yeri, işçinin en az göz hareketini gerektirecek şekilde uygun bir görüş alanı içine yerleştirilmelidir.

İşyerinin düzenlenmesi ile ilgili temel prensipleri şunlardır:

- Alışkanlık sağlamak üzere bütün araç ve malzemeler için sabit yerler bulundurulmalıdır,
- Araçlar, malzemeler ve yönetme kolları işçinin en geniş çalışma alanı içine yerleştirilmeli ve bunların işçiye mümkün olduğu kadar yakın olmaları sağlanmalıdır,
- Eğimli taşıma düzeni, sandıklar ve kaplar malzemelerin, çalışma noktalarının elden geldiğince yakınına ulaştırılmasını sağlayacak şekilde kullanılmalıdır,
- İşçinin biten işi göndermek üzere ellerini kullanmasını önlemek amacıyla, fırlatma ya da bırakma sonucu işin kendiliğinden bir sonraki yere gitmesini sağlayacak düzenler kurulmalıdır,
- Malzemeler ve araçlar en iyi hareket sırasını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir,
- Uygun ışıklandırma için gerekli önlemler alınmalıdır,
- İşe göre iyi bir oturma sağlayacak tip ve yükseklikte sandalye sağlanmalıdır. Çalışma yerinin ve sandalyenin yüksekliği, ayakta ya da oturarak çalışmaya elverecek şekilde ayarlanmalıdır (Barnes 1958).

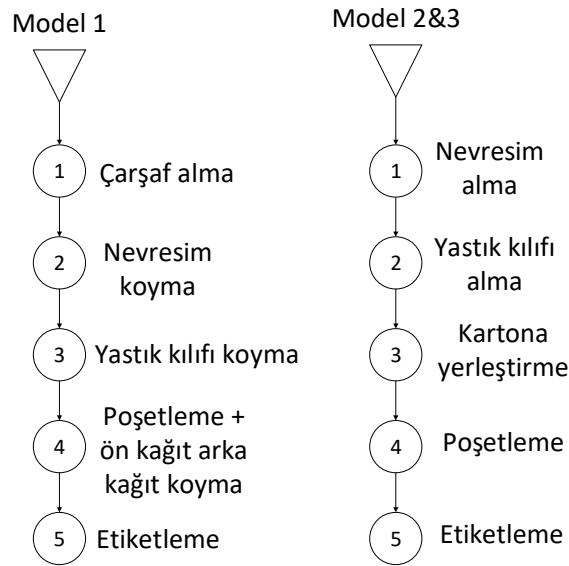
Paketleme bölümünde, üç farklı modelin üretimi için çalışan hareketleri videoya kaydedilmiş, yukarıda prensipler dikkate alınarak gerekli düzeltmeler gerçekleştirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada incelenen üç modelin her biri için iş akış şeması oluşturulmuş, daha sonra iki el analiz şeması kullanılarak paketleme işlemleri ayrıntılandırılmış ayrıca çalışanın masa düzeni ve uzanma mesafeleri belirlenmiştir.

3.1. Modellerin İş Akışları

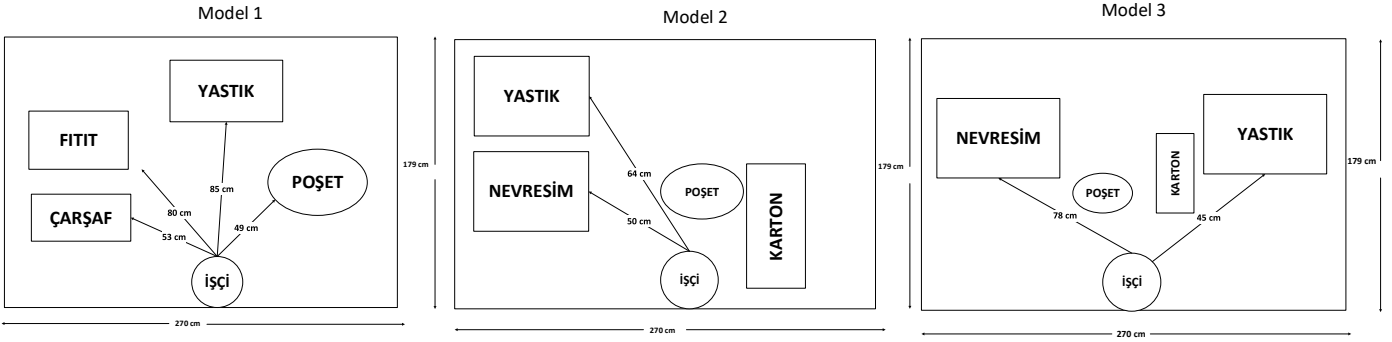
Model 1’de işçi, paketin içerisine nevresim, fıtıtlı çarşaf ve iki adet yastık kılıfı yerleştirmektedir. Ardından poşet içerisine kartonlarını koyup etiketlerini yapıştırmaktadır. Model 2 ve Model 3’te işçi nevresim ve bir adet yastık kılıfına uzandıktan sonra kartonun arasına koyup, poşet içerisine yerleştirmekte ve etiketlerini yapıştırmaktadır. Şekil 2’te söz konusu modellere ait işlem akışı yer almaktadır.



Şekil 2: Modellerin iş akışı

3.2. Modellere Ait Masa Düzenleri ve İki El Analiz Şemaları

Tüm modellere ait çalışma masası düzenleri Şekil 3’te gösterilmektedir. Yapılan gözlemler sonucunda oluşturulan iki el analizi şeması, Model 1 için 8, diğer modellerde birer çalışan için doldurulmuştur. İşçilerin seçiminde herhangi özel bir yöntem kullanılmış, işletmenin ilgili görev için atadığı çalışanlarla uygulama gerçekteştirilmiştir. Model 1’e ait bir örnek Şekil 4’de verilmektedir. Özellikle 8 farklı çalışanın olduğu Model 1’in paketlenmesi sırasında 5 temel hareket bulunmaktadır: ÇU=çarşafa uzanma, FU=fitita uzanma, YU=yastık kılıfına uzanma, KFK=katlama, poşetleme, fermuar kapatma, E=etiketleme. 8 çalışan için bu sürelerin varyasyonları incelenmiş ve Tablo 1’de ki verilere ulaşılmıştır. İşlemler arasındaki süre farklılıklarının çoğunlukla masa yerleşiminden oluştuğu sonucuna varılmış, buna bağlı olarak en uygun yerleşim şekli ve çalışma düzeni sonuçlar bölümünde ayrıntılı verilmiştir.



Şekil 3: Tüm modellere ait masa düzenleri

Operatörün Adı : 1.İŞÇİ		Özet	Sol el	Sağ el
Gözlemci : -		Etkin zaman	50,56	39,68
Metod/Yöntem : İKİ EL ANALİZİ		Kayıp zaman	0	10,88
Model Adı : Model 1		Çevrim Zamanı	50,56	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>Çalışma alanı Düzeni:</p> </div>				
Sol El Hareketi	Sembol	Dakika\ saniye	Dakika\ saniye	Sağ El Hareketi
Çarşafa uzanma		3,25	3,25	Çarşafa uzanma
Fitita uzanma (5,12)		8,37	8,37	BOŞ (5,12)
Yastık kılıfına uzanma (5,76)		14,13	14,13	BOŞ (5,76)
Katlama Poşetleme Fermuar kapatma (24,09)		38,22	38,22	Katlama Poşetleme Fermuar kapatma (24,09)
Etiketleme (12,34)		50,56	50,56	(12,34) Etiketleme

Şekil 4: Model 1’in iki el hareket analizi

Tablo 1: Tüm modellere ait masa düzenleri

Operatörler	İşlem elementleri (sn)				
	ÇU	FU	YU	KPF	E
1	3,25	5,12	5,76	24,09	12,34
2	2,62	5,02	5,16	23,48	11,7
3	2,43	8,36	9,93	31,96	10,93
4	2,06	4,86	4,16	18,79	9,1
5	3,62	3,96	6,36	20,73	12,33
6	3,75	7,92	4,05	26,3	10,33
7	2,92	4,89	5,95	23,13	11
8	2,75	4,35	3,69	21,52	11,4
Ortalama	2,925	5,56	5,632	23,75	11,141
Standart sapma	0,583	1,641	1,99	4,02	1,07

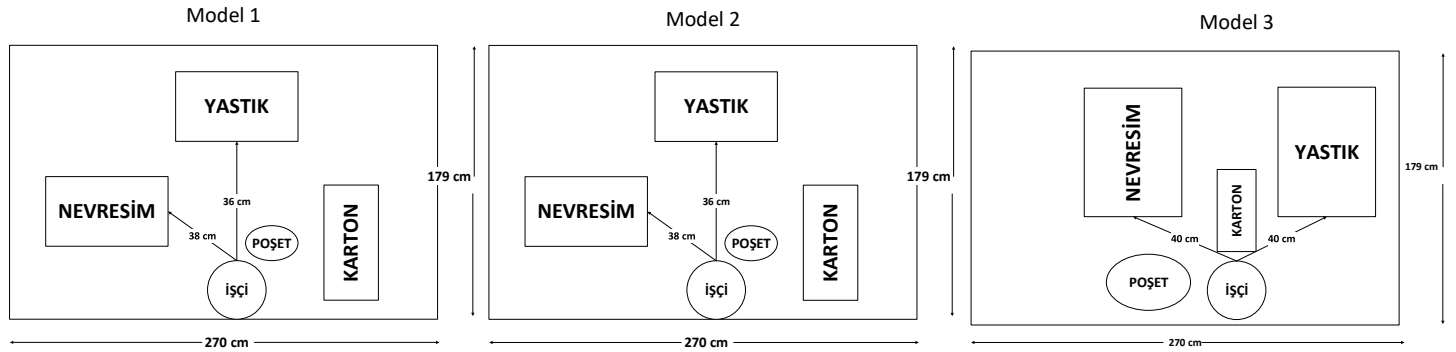
3.3. Çalışma Metotlarında Gerçekleştirilen İyileştirmeler

Paketleme sürecinde, kullanılan materyallerin işçiye olan uzaklıklarının ve materyallerin masadaki konumunun düzenlenmesinin ardından iki el hareket analizi sonucunda gerçekleştirilen birleştirme işlemi ile daha verimli bir sistem önerilmiştir.

Elde edilen bulgular sonucunda, Model 1 için ilk olarak masa düzeni yeniden düzenlenmiştir. İşçinin bir materyale uzandığı santimetre başına geçen süre en aza indirgenmiştir. İki el analizi şemasının doldurulması ve gözlemlenmesinin ardından kayıp zamanlar kaydedilmiştir. Bu durumda bir işçinin ortalama sağ ve sol ellerinin kayıp zamanı ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. İki el analizinde, sağ ve sol elin kayıp zamanını sıfıra indirmek için üretimde bulunan grup başı elemanı ile üzerinde çalışarak hareketlerin birleştirilme işlemi yapılmıştır. Uzanması gereken iki materyale aynı anda uzanması sağlanmıştır. Bu durumda, bu modelde fititli çarşafa sol eliyle ve yastık kılıfına sağ eliyle uzanıp eş zamanlı hareket söz konusu olmuştur.

Model 2 için de bulgular irdelenip yeni yöntem ve masa düzeni geliştirilmiştir. İki el analizinde hareketlerin birleştirilme işlemi yapılmış, uzanması gereken iki materyale aynı anda uzanması sağlanmıştır. İşçinin fitit için uzandığı kısımda diğer eliyle yastık kılıfına uzanması denemiştir ve işçinin bir ambalajı bitirene kadar geçen süreçte bir elinin kayıp süresi sıfıra indirgenmiştir.

Model 3 için de diğer modellerde olduğu gibi, çalışanın uzanması gereken iki materyale aynı anda uzanması sağlanmıştır. Tüm modeller için malzeme mesafesi mümkün olduğunca kısaltılmıştır. Şekil 5'te tüm modeller için önerilen paketleme masa düzenlerinin işçiye olan uzaklıkları gösterilmiştir. Ayrıca tüm modeller için önerilen yeni çalışma düzenine uygun olarak iki el hareket analizi gerçekleştirilmiş, Şekil 6'da Model 1 için grup başı tarafından uygulanan önerilen metodun iki el analiz şeması verilmiştir.



Şekil 5: Tüm modeller için önerilen masa düzenleri

Operatörün Adı : <input type="text"/> (Grup Başı)	Özet	Sol el	Sağ el		
Gözetici : <input type="text"/>	Etkin zaman	31.94	31.94		
Metod/Yöntem : İki El Analizi	Kayıp zaman	0	0		
Model Adı : <input type="text"/>	Çevrim Zamanı	31.94			
<p>Çalışma alanı Düzeni:</p>					
Sol El Hareketi	Sembol	Dakika saniye	Dakika saniye	Sembol	Sağ El Hareketi
Fitit + Yastık kılıfına uzanma (3.42)		5.39	5.39		Fitit + Yastık kılıfına uzanma (3.42)
Katlama Kağıt kayma Fermuar kapatma (16.52)		21.91	21.91		Katlama Kağıt kayma Fermuar kapatma (16.52)
Etiketleme (10.03)		31.94	31.94		Etiketleme (10.03)

Şekil 6: Model 1'in önerilen yöntemle iki el hareket analizi

4. Sonuç

Yapılan çalışma sonucunda, gerçekleştirilen iki el hareket analizinde tüm modellerde zaman tasarrufu yapılabileceği belirlenmiştir. Her model için belirlenen tasarruf süreleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Mevcut ve önerilen yöntemlerin karşılaştırılması

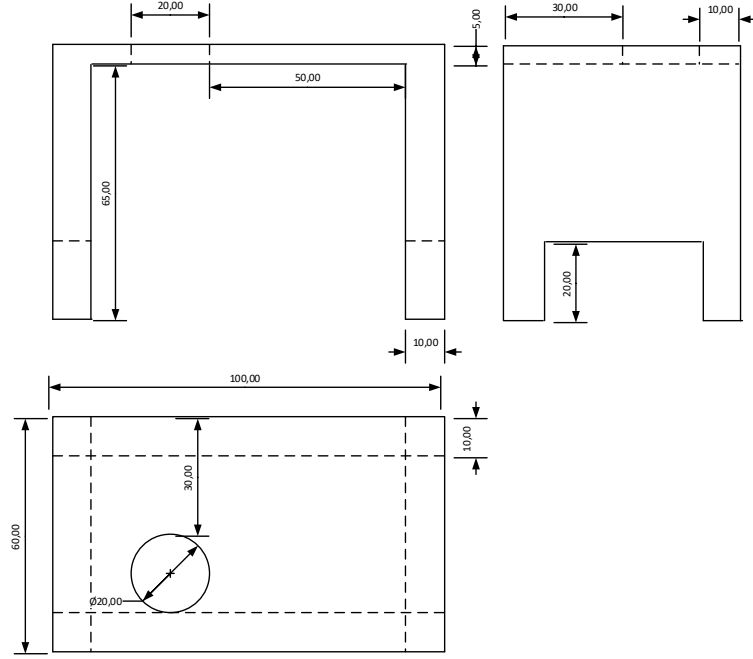
Modeller	Mevcut yöntem (sn)	Önerilen Yöntem(sn)	İyileşme yüzdesi
Model 1	48,93	31,94	%34,7
Model 2	31,41	20,39	%35,08
Model 3	19,06	13,41	%29,64

Bunların yanı sıra, yapılan ambalaj ve paketleme işleminin daha da kolaylaştırılması için yeni bir masa tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de teknik çizimi verilen tasarım sayesinde, her modelin ambalaj işlemi bittikten sonra masanın altında bulunan depolama sistemi ile çalışanın biten ürünü masanın solundan ve çalışana optimum uzaklıkta bulunan boşluğa balistik bir hareketle fırlatılması önerilmiştir. Böylece biten ürünü çalışma masasının kenarına alıp koymak için gereken süre en aza indirilebilecektir.

Küreselleşen dünyamızda, işletmeler artık sadece ulusal boyutta değil, uluslararası rekabet ortamında faaliyetlerini sürdürmek durumundadır. Ayrıca ürün ve üretim teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, pazarlardaki değişimler, özellikle pazarların önemli ölçüde doyuma ulaşması, müşterilerin daha bilinçli ve seçici olması gibi faktörler işletmelerin müşteri odaklı yaklaşımlara yönelmesini sağlamıştır. Tüketicilerin ihtiyaç ve beklentilerine uygun ürünlerin tasarlanması bu ürünlerin hızlı tüketimi, piyasaya sürülen ürün çeşidini arttırmış ve ürün yaşam sürelerini kısaltmıştır. Bu şartlar altında işletmelerin başarılı olması da giderek zorlaşmaktadır (Demirbaş, 2010). Bu nedenle, verimliliği etkileyen faktörlerin çok iyi anlaşılması ve bu faktörlerin iyi yönetilmesi gerekmektedir. Verimliliği arttırmak için kullanılan en önemli uygulamalardan biri metot mühendisliğidir.

Bu çalışmada ev tekstili üretimi yapan bir konfeksiyon firmasının paketleme bölümünde iki el hareket analizi yapılmıştır. Çalışan hareketleri dikkatlice incelenmiş, operasyonlarla ilgili tavsiyeler verilmiştir. Çalışma sonunda çalışanlarla yapılan ikili görüşmelerde, geliştirilen yöntemin daha az yorucu olduğu sözlü olarak ifade edilmiştir. Her ne kadar bu çalışma, 3 aylık bir sürede gerçekleşmiş olsa da verimliliğin sürdürülebilir olması için sürekli gözlem yapılmasında fayda vardır.

Konfeksiyon sektörü el emeği ve insana dayalı bir yapıdadır. Bu nedenle, iki el hareket analizi çalışmasının ve verimlilik kapsamında yapılan çalışmaların yanı sıra, çalışanların daha motive ve verimli olmasını sağlayacak etkenler de göz önüne alınmalı ve aynı zamanda verimlilik için eldeki kaynaklarla optimum üretim sağlanmalıdır. Söz konusu çalışma ile işletmenin daha verimli çalışması için bir başlangıç yapılmıştır. Gelecek dönemlerde önerilen uygulamaların hayata geçirilmesi ve iki el hareket analizi uygulamalarının devam ettirilmesi temenni edilmektedir. Çünkü, metot etüdü çalışmaları, temelleri 1910'lu yıllarda atılmış, uygulama sırasında işletmeye hiçbir maddi yük getirmeyen niteliklere sahiptir. Uygulamanın devamlılığı, işletme verimliliğine katkısı açısından son derece önemlidir.



Şekil 7. Önerilen çalışma masasının teknik çizimi

Kaynakça

- Akal, Z. (2004), *İş Etüdü*, Ankara: MPM Yayınları.
- Aladağ, Z., Alkan, A., Avcı, S., Gülen, E. (2018), Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir Firmada İthalat Sürecini Yalınlaştırılması, *8th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education* (s.170-185). Vienna, Austria. Erişim adresi: <http://editor.website.tc/492878/8.th6icosresse6fulltextsbook.pdf>
- Barnes, R. M. (1958). *Motion and Time Study Design and Measurement of Work*, 6th ed. NY: John Wiley & Sons.
- Demirbaş, Z. A. (2010). *Verimlilik Arttırma Tekniği Olarak Metot Etüdüünün Bir Hazır Giyim İşletmesinde Uygulanmasının İşletme Performansına Etkileri*. Dokuz Eylül Üniversitesi (Yüksek Lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Dizdar, E. N., Özen R. (2001). Ahşap Mobilya Endüstrisinde Üretim Verimliliği için İş Etüdü Uygulamaları, *Teknoloji*, 1-2:1-9. Erişim adresi: [http://jestech.karabuk.edu.tr/arsiv/1302-0056/2001/Cilt\(4\)/Sayi\(1-2\)/1-9.pdf](http://jestech.karabuk.edu.tr/arsiv/1302-0056/2001/Cilt(4)/Sayi(1-2)/1-9.pdf)
- Ertaş C., Kızılaslan Z. (2015). Üretimde Ergonomi Çalışmaları ile Verimliliğin Artırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), ÖS:Ergonomi, 651-657. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr/jesd/issue/20874/224065>.
- Ev Tekstil Sektörü. (2016). Ankara. Retrieved from https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Ev_Tekstili_2016.pdf
- Freivalds, A., Niebel, B. W. (2014). *Niebel's Methods, Standards, & Work Design* (13 th). New York: McGraw-Hill.
- Hacıhasanoğlu, T. (2014). Üretim maliyetlerinin düşürülmesinde kaizen maliyetleme yöntemi ve mobilya sektöründe bir uygulama. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(2):47-63. Erişim adresi: <http://iibfdergi.ibu.edu.tr/index.php/ijest/article/view/644>
- Kayar M. (2008). *Hazır Giyim İşletmelerinde Verimsizliği Ortaya Çıkaran Nedenlerin Araştırılması ve Bunların Çözümüne Yönelik Alan Çalışması*, Marmara Üniversitesi (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Kurt, M., Dağdelen, M. (2003). *İş Etüdü*. Ankara: Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti.
- Meyers, F. E., Stewart J. R. (2002). *Motion and time study for lean manufacturing* 3rd ed. NJ: Pearson Education.
- Smith, G., L., Loch D. (2001), Chapter 17.1; Charting Techniques. Kjell B. Zandin (Ed.), *Maynard's Industrial Engineering Handbook* (s.17.13), NY: McGraw-Hill Education; 5 edition.
- Yaman, R., Uçmuş E., Gönen D. (2008). Traktör emniyet kabini imalatı yapan bir işletmede metot ve zaman etüdü teknikleri ile verimliliğin artırılması. *BAÜ FBE Dergisi*, 10(2):13-22. Erişim adresi: <http://fbed.balikesir.edu.tr/index.php/dergi/article/download/311/290>.



Yalın Üretim Tekniklerinden Değer Akış Haritalandırmanın Bir Metal İşleme Fabrikasında Süreç İyileştirme Amacıyla Uygulanması

Abdullah Sevgili^{1*}, Zahide Figen Antmen²

¹ Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1778-1555)

² Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

(İlk Geliş Tarihi 19 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 25 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.555940)

ATIF/REFERENCE: Sevgili, A. & Antmen, Z. F. (2019). Yalın Üretim Tekniklerinden Değer Akış Haritalandırmanın Bir Metal İşleme Fabrikasında Süreç İyileştirme Amacıyla Uygulanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 219-228.

Öz

Yalın üretim; temel olarak israfı ortadan kaldırarak kalite, maliyet ve teslimat sürelerini iyileştirmeyi amaçlayan beş yalın ilke üzerine kurulu bir üretim sistemi, yönetim yaklaşımı ve düşünce tarzıdır. Değer Akış Haritalandırma (DAH); bir kuruluşta israfın (kayıp, muda) ortadan kaldırılması ve yalın dönüşüm çabalarında hem başlangıç uygulaması hem de en önemli araçlardır. Bu çalışmada amacımız; seçilen bir ürün grubunun Değer Akış Haritalandırma kullanılarak hammadde halinden bitmiş ürün olarak müşteriye sevk edilmesine kadar üretiminin tüm aşamalarını bir bütün halinde görerek analiz etmek, israf kaynaklarını tespit etmek ve israfın ortadan kaldırılması veya azaltılması için uygun yalın teknik ve araçları belirlemek, iyileştirilmiş üretim akışını gelecek durum Değer Akış Haritasında göstermek ve bu iyileşme hedefine ulaştıracak uygulama önerilerini sunmaktır.

Bu çalışmada; Adana'da faaliyet gösteren ve ağır iş makinesi aksamı üreten bir metal işleme fabrikasında uygunsuz ürünler nedeniyle oldukça sık uygulanan yeniden işleme ve tashih işlemlerinin A3 yalın problem çözme tekniği kullanılarak ortadan kaldırılması ile toplam üretim akış süresinin azaltılması, verimliliğin ve üretim miktarının artırılması, prosesteki değişkenliğin azaltılması hedeflenmiştir. İsrif kategorisinde değerlendirilen ürün tashih işlemleri ortadan kaldırıldıktan sonra FIFO düzeninde parça akışı, çevrim zamanı azaltma ve çekme-kanban sistemlerinin beraber uygulanacağı ve böylelikle ara stokların minimize edileceği, üretim akış süresinin daha da kısılacağı ve günlük üretim miktarının artacağı bir çalışma yapılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yalın, Yalın Üretim, Değer Akış Haritalandırma, A3 Problem Çözme, Metal İşleme

Application of VSM as a Lean Technique for Process Improvement in a Metal Works Factory

Abstract

Lean manufacturing is a production system, management approach and way of thinking based on five lean principles which aims improvement in terms of quality, cost and delivery by eliminating waste. Value Stream Mapping (VSM) is the starting point and one of the most important tools for eliminating waste (muda) and lean transformation efforts in an organization. In our study; we aim to analyze the whole production process of a product family from raw material state to finished good's delivery to customer and identify the sources of waste using VSM, determine the appropriate lean tools and techniques to eliminate waste, display improved process flow in the future state VSM and give some recommendations to achieve improvement objectives.

The aim of our study is to eliminate the frequent rework and repair activities due to nonconforming products by using A3 problem solving technique and thus reducing process lead time and variability and increasing productivity and production volume for a metal works factory in Adana, Turkey which produces components for heavy duty machines. After the elimination of the rework and repair

* Sorumlu Yazar: Çukurova Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1778-1555, sevgilia@yahoo.com

activities which are waste, we recommend a further study on application of FIFO based product flow, cycle time reduction and kanban system together to further decrease lead time and WIP inventory and increase daily production volume.

Keywords: Lean, Lean Manufacturing, Value Stream Mapping (VSM), A3 Problem Solving, Metal Works.

1. Giriş

Günümüzde firmalar sürekli artan maliyetlerle baş etmeye çalışmakta, karlılıkları azalmakta, finansal kaynak sağlamak, piyasada ayakta kalmak ve rekabet etmek gitgide zorlaşmaktadır. Dolayısıyla firmalar rekabet ortamında ayakta kalmak için müşteriye sundukları değere odaklanmalı, müşteri taleplerine hızlı cevap vermeli, kaynaklarını verimli kullanmalı, israfı ortadan kaldırmalıdır. Bazı firmalar üretim alanlarını Çin, Meksika gibi gelişmekte olan ülkelere kaydırarak üretim maliyetlerini düşürme yoluna giderken bazıları yalın üretim ya da yalın düşünce gibi yeni üretim yöntemlerini benimseyerek ayakta kalmaya ve faaliyetlerine devam etmeye çalışmaktadırlar (Akçaoğlu, 2012:7).

Yalın üretim sistemi, stokların azaltılmasından çevrim süresinin kısaltılmasına, üretim hattı dengelenmesinden darboğazların ortadan kaldırılmasına, tek parça akışının sağlanmasından israfın ortadan kaldırılmasına kadar pek çok iyileştirmeyi içinde barındırmaktadır (Sarı, 2018:68).

Yalın üretim ilkeleri, kavramları ve araçları 1950 – 1960 yılları arasında 10 yıllık bir süreç içinde Japonya’da Taiichi Ohno liderliğinde Toyota Üretim Sistemi adıyla geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur. Elde edilen çarpıcı sonuçlar ve başarılar neticesinde sonraki 10 yıl içinde bu uygulamalar Toyota’nın tedarikçilerini de içerecek şekilde genişletilmiştir. İlerleyen yıllarda yalın üretim uygulamaları ABD başta olmak üzere birçok ülkede otomotiv ve diğer sektörlerde yayılmıştır. Yalın üretim sistemi ilk olarak otomotiv sektöründe kullanılmaya başlansa da zaman içerisinde yapılan araştırmalar ve diğer sektörlerdeki gereksinimler de değerlendirilerek yalnızca üretim sektöründe değil, hizmet sektöründe de uygulanmaya başlanmıştır (Doğan ve Ersoy, 2016:104).

Yalın üretim felsefesi, üretim süreçlerindeki değer katan ve katmayan faaliyetlerin belirlenerek değer katmayan tüm faaliyetlerin sistematik bir şekilde ortadan kaldırılmasını amaçlar. (Bulut ve Altunay, 2015:49) Yalın üretim, işletmelerin rekabet edebilirliğini artırmak, gereğinden fazla kaynak kullanımını en az seviyede tutmak ve daha verimli üretimi gerçekleştirmek amacıyla geliştirilmiş sistem ve teknikler bütünüdür. Yalın üretimin en temel amacı ürünün tasarım aşamasından sevkiyat aşamasına kadarki tüm süreçlerdeki israfın önüne geçmektir (Adalı vd., 2016:243).

Yalın üretim 5 temel ilke üzerine kuruludur: Bunlar değer, değer akımı, sürekli akış, çekme ve mükemmelliktir.

Değer, müşterilerin para ödemeye istekli oldukları ürün dönüşümlerini içeren faaliyetlerdir. Tipik olarak müşteriler; fazla üretim, malzeme beklemeleri, ıskarta, yeniden işleme, stok, fazla işlem ya da kontrol için ödeme yapmak istemezler. Bunların hepsi israftır. İsrafı yok etmeden önce bunları görmeyi öğrenmek gerekmektedir. Eğer israf tanımlanabilirse ancak o zaman yok etmek amaçlanabilir. İlk önce, müşteriler tarafından algılanan ‘değer’ belirlenmelidir (Akçaoğlu, 2012:14).

İsraf, ürün veya hizmetlere değer katmayan faaliyetlerin tümüdür. 7 israf çeşidi vardır: Fazla üretim, bekleme, gereksiz taşıma, fazla işlem, fazla stok, gereksiz hareket ve kusurlu üretim.

Sarı’ya (2018:71-72) göre yalın bir değer akışında kullanılan başlıca bilgiler şunlardır:

- Takt zamanı: Takt ritim ya da metre anlamına gelen Almanca bir sözlüktür. Takt müşteri talebinin hızıdır ve üretim için hedef süredir. Bir hücre içinde tek parçalı akış oluşturulduğunda, bu hücrenin işleme için hangi hıza göre tasarlanması gerektiği, makine kapasitesi, kaç çalışana ihtiyaç olacağı takt süresine göre belirlenmektedir. Takt zamanı hesaplandıktan sonra buna bağlı olarak makine ve operatör sayısı hesaplanmaktadır.
- Çevrim süresi: Bir süreç tarafından parça veya ürün tamamlanma sıklığıdır ve bitmiş ürünün hücrenin sonuna ne sıklıkla geldiğini ifade etmektedir. Eğer çevrim süresi takt zamanından daha kısa olursa aşırı üretim olacaktır ve bu durum fazladan operatör kullanıldığını göstermektedir.
- Katma değer süresi: Müşterinin parasını ödemeye istekli olduğu şekilde ürünü dönüştüren iş elemanlarının süresi olarak tanımlanmaktadır.
- Değer yaratmayan süre: Müşterinin bakış açısından bir ürüne maliyet ekleyen fakat değer katmayan faaliyetler için harcanan süredir.
- Akış süresi: Bir parçanın, bir süreçte veya değer akışında başlangıçtan bitişe hareketi boyunca geçen.

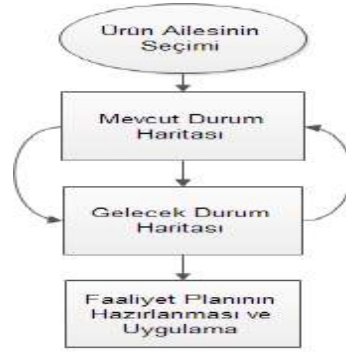
Ayrıca kullanılan diğer bilgiler aşağıda yer almaktadır:

- Kalıp değiştirme süresi(C/O): Bir ürün modelinden diğerine geçiş süresi.
- Uptime: Makina çalışabilirlik oranı.
- Operatör sayısı: Prosesteki çalışan sayısı.
- Kullanılabilir çalışma süresi: Saniye cinsinden ve mola, toplantı vb. düşülmüş süre.

Değer Akış Haritalandırma (DAH)

İşletmede israfın ve değer katmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılmasında en önemli araçlardan birisi değer akış haritalamadır. Değer akışı ilk olarak 1990 yılında Womack, Jones ve Ross tarafından “Dünyayı Değiştiren Makine” kitabında kullanılmış ve sonrasında 1996 yılında “Yalın Düşünce” kitabında tartışılmış bir kavramdır (Sarı, 2018: 68). Değer akışı, her ürün için esas olan ve ana akışlar boyunca bir ürünü meydana getirmek için ihtiyaç duyulan, katma değer yaratan ve yaratmayan faaliyetlerin bütünü şeklinde ifade edilmektedir (Rother ve Shook, 1999). Değer akışı haritalandırma, bir değer akışındaki değeri, israfı ve israf

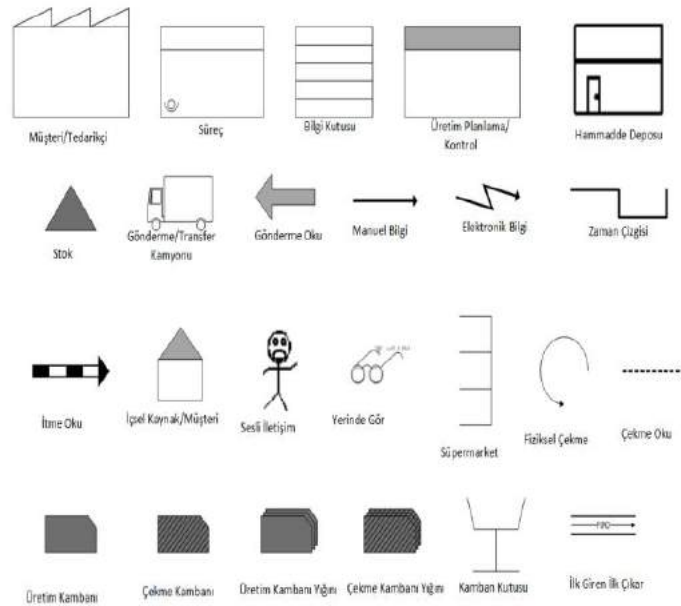
kaynaklarını görmek ve tek bir prostenen daha fazlasını göz önünde canlandırmak için başvurulan bir yöntemdir. Değer akışı bakış açısı, yalnızca parçalar üzerinde değil büyük resim üzerinde çalışmayı ve sadece tek tek prosesleri değil bütünü iyileştirmeyi gerektirir (Birgün vd., 2006:49).



Şekil 1: Değer akışı haritalandırma adımları (Rother ve Shook, 1999).

Değer Akış Haritalandırma yapılırken Şekil 1’deki adımlar takip edilmelidir. Değer Akış Haritasına başlanmadan önce bir ürün veya ürün ailesi seçilir. Bu ürüne ait değer akımı, hammadde temininden üretim süreci sonunda müşteriye teslim aşamasına kadar tüm adımlar izlenerek ortaya konulur. Değer Akış Haritaları genellikle üretim sahasını gezerken bir A3 kâğıda el ile çizilir ve üretimle ilgili veriler kaydedilir. Bu veriler makine veya operatör çevrim zamanı, kalıp/fikstür değiştirme süreleri, tüm aşamalardaki stok miktarları, makine çalışabilirlik oranları, hurda oranları vb. içerir. Mevcut durum tam olarak tespit edilip işlendikten sonra yalın bakış açısıyla süreçler ve adımlar tek tek incelenip iyileştirme noktaları belirlenir. Bu noktalar belirlendikten sonra gelecek durum Değer Akış Haritası çizilir. Son adım olarak da gelecek duruma ulaşmak üzere yapılması gerekenler planlanır ve bir uygulama planı ile takip edilir.

Değer Akış Haritasında Kullanılan Semboller



Şekil 2: Değer Akış Haritasında Kullanılan Semboller (Özveri & Güçlü, 2015:3)

2. Önceki Çalışmalar

Değer Akış Haritalama; bir teknik olarak bilinmekle beraber Rother ve Shook (1999) tarafından yazılan ve Yalın Enstitü tarafından yayınlanan “Görmeyi Öğrenmek” kitabıyla daha da ilgi ve yaygınlık kazanmış ve sonraki yıllarda literatürde birçok çalışmaya konu olmuştur. Farklı alanlar ve endüstrilerde değer akış haritalamanın kullanımına dair çalışmalar ve elde edilen sonuçlar incelenmiş ve aşağıda özet olarak verilmiştir.

Literatür incelendiğinde imalat ve hizmet sektöründe DAH tekniğinin çok sayıda uygulamada kullanıldığı görülmektedir. (Adalı vd., 2017).

Carvalho ve diğerleri (2011) inşaatlarda kullanılan metal yapı ve iskeletleri üreten bir fabrikada yalın üretim araçları kullanarak üretim sürecini geliştirmeyi, yaşanan üretim problemlerine çözüm bulmayı amaçlamışlardır. DAH, 5S, CONWIP, hata önleyici sistemler, yerleşimin yeniden düzenlenmesi, standart operasyon prosedürleri uygulamaları ile ürünlerin kat ettiği mesafeyi %25 ve işlem süresini %80 oranında azaltmışlardır.

Karim ve diğerlerinin (2012) yaptığı çalışmada bir metal presleme fabrikasında DAH uygulanması ile üretim hattındaki verimliliğin %48 seviyesinde artırılabilceği sonucuna varılmıştır.

Matt (2013) tarafından yapılan çalışmada sac levha üreten bir fabrikada farklı ürünler için DAH'lar kullanılarak malzeme hareket yoğunlukları hesaplanmış ve daha iyi bir fabrika yerleşim planı için öneriler sunulmaktadır. Üretim sisteminin yeniden tasarlanması ve iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Reddy ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada DAH uygulaması ile ilgili genel bilgiler verilmiş, uygulama şekilleri ve adımları tanıtılmış ve kullanılan semboller açıklanmıştır.

Rasi ve diğerleri (2014) tarafından yapılan çalışmada kesikli üretim yapan bir fabrikada gelecek durum haritasının simülasyon ile desteklenerek dinamik bir DAH'nın nasıl oluşturulabileceği araştırılmıştır. Aynı zamanda birkaç proses adımının ve operatör sayısının azaltılması imkânı araştırılmıştır. Hat dengeleme ile iki yatay çekme makinasından birisinin ve iki işçiden birisinin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Nandikolmath ve diğerleri (2012) tarafından yapılan çalışmada imalat sektöründeki bir fabrikada DAH kullanılarak makine kuruluş zamanı ve çevrim zamanlarının azaltılması hedeflenmiştir.

Joshi ve Naik (2012) tarafından yapılan çalışmada DAH kullanılarak bir üretim kuruluşunda israfın azaltılması amaçlanmış ve israfın sebepleri araştırılarak çevrim sürelerini iyileştirecek öneriler sunulmuştur. Yapılacak iyileştirme faaliyeti ile toplam üretim zamanının 14400 dakikadan 9600 dakikaya indirilerek %30 luk bir iyileştirme sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

Patel ve diğerleri (2015) literatürü tarayarak DAH uygulamasının talaşlı imalat sektöründeki uygulamaları sonucu elde edilen kazanımları 6 çalışma örneğinde ortaya koymuşlardır.

Bulut ve Altunay (2016) tarafından yapılan çalışma ile bir mobilya firmasında DAH kullanılarak ortak bir hedefe yönlendirilmiş ve kazancı hesaplanmış bir yol haritası elde edilmiştir. Örneğin delik delme işleminde vardiya başına 261 adet, kenar işlemede ise 576 adet kazanç elde edileceği hesaplanmıştır.

Doğan ve Ersoy (2016) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren bir üniversite araştırma ve uygulama merkezi ele alınmış ve bu merkezde yapılan analizlerden bir tanesine odaklanılarak bir DAH uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gelecek durum haritasında önerilen hizmet süreci ortamına geçildiğinde X araştırma ve uygulama merkezinde önemli iyileştirmelerin olacağı öngörülmüştür. Hizmet akış süresinde %53, işlem süresinde ise %59 azalma bu öngörülen iyileştirmelerden bazılarıdır.

Birgün ve diğerleri (2006) tarafından dünya traktör imalatı sektöründe en büyük firmalardan biri olan UZEL A.S.'de müşteri beklentilerini karşılamak üzere yalın üretim projesi dahilinde bir değer akışı haritalandırma çalışması yürütülmüştür. Mevcut sistem analiz edilmiş ve sistem performansını yükseltecek gelişmeler önerilmiştir. Örneğin çekme sisteminin kurulması halinde temin süresinin 21 günden 3,5 güne kısılacağı ve envanter devrinin 6 kat artacağı sonucuna varılmıştır.

Adalı ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmada Sakarya'da faaliyet gösteren bir traktör fabrikasında Değer Akış Haritalama (DAH) kavramlarının uygulanması amaçlanmıştır. Mevcut durumunun analiz edilmesi yoluyla platform imalatı hattında mevcut israflar, boşa geçen süreler saptanmıştır. Gelecek durum analizi ile israfların önlenmesi yönünde iyileştirmeler yapılarak değer akış süresinin 13,08 günden 4,35 güne indirileceği, mevcut ve gelecek durum analizleri yapılarak platform imalat hattının çevrim süresinin %8 iyileştirileceği sonucuna varılmıştır.

Maraşlı ve diğerleri (2016) tarafından bir dondurma fabrikasında kalıp değişim sürelerini ve stokları azaltmak için yalın üretimin tekniklerinden biri olan değer akış haritalama uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda kalıp değişim süreleri ve stoklar en aza indirilmiş ve bu sayede maliyetlerden ve zamandan tasarruf edilmiştir.

Sarı (2018) tarafından yapılan çalışmada, bir üretim işletmesinde değer akış haritalama yöntemi uygulanarak değer katan ve değer katmayan işlemlerin ayrıştırılması ve işletmenin müşteritalebini daha hızlı ve kolay bir şekilde karşılaması için yapılan iyileştirmeler ele alınmıştır. Yalın üretim teknikleri ile iyileştirmeler yapılırken işletmenin çevrim süresinin azaltılması, stok miktarının düşürülmesi, karşılaşılan aksaklıkların giderilerek kalite maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. İşletmenin yapılması önerilen iyileştirmelerden sağlayacağı fayda hesaplanmıştır ve %50 oranında bir iyileştirme öngörülmüştür.

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın materyalini, Adana ilinde faaliyet gösteren bir metal işleme fabrikasında üretilen bir ürün grubu ve üretim süreçleri, malzeme ve bilgi akışı oluşturmaktadır. 2018 yılı Mart ayında başlayan bu çalışmada üretim alanından veriler toplanmaya başlanmış ve fabrikadaki yeni düzenlemeler ve değişiklikler nedeniyle veriler Ekim ve Kasım aylarında tekrardan alınarak çalışma güncellenmiştir. Çalışmada özet olarak;

1. Toplanan verilerle mevcut durum değer akış haritası çizilmiştir,
2. Mevcut durum değerlendirilerek öncelikle iyileştirilmesi gereken alanlar ve ele alınması gereken problemler tespit edilmiş,

3. Öncelik arz eden bu problemlerin ortadan kaldırılmasına yönelik fabrika yetkili personeli ile yalın A3 düşünme tekniği kullanılarak bir yol haritası belirlenmiş, muhtemel kazanımlar hesaplanmış,
4. Üretimdeki problemlerin giderildiği bir gelecek durum tasavvur edilerek gelecek durum değer akış haritası çizilmiş,
5. Gelecek durum DAH kullanılarak mükemmellik ilkesi gereği üretim sürecinin daha da iyileştirilmesine yönelik adımlar ve araçlar belirlenerek öneri olarak sunulmuştur.

Bu fabrikada ekskavator, yükleyici, hafriyat kamyonu gibi ağır iş makineleri için yan iskelet, merkez iskelet, damper, kepçe, şasi gibi büyük tonajlı metal aksam üretilmektedir. Hammadde, ara mamul ve bitmiş ürünler için geniş stok alanları bulunmaktadır. İstasyonlardaki çevrim sürelerinin uzunluğundan dolayı üretim kapasitesi oldukça sınırlıdır. Örneğin bir istasyonda tek ürünün işlem süresi 150 dakikayı bulabilmektedir. Genelde emek yoğun bir üretim süreci yürütülmektedir ve parça-ürün üzerindeki işlem süreleri operatörlerin tecrübesi, bilgisi vb. etkenlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Fabrikada özellikle hazırlama ve mekanik işlemler binalarında yeni ve yüksek kapasiteli bir makine parkı ve büyük makine ve ekipmanlar mevcuttur. Kaynak operasyonu için montaj/kaynak binasında 4 adet endüstriyel robot kullanılmaktadır. Manuel işlemler daha çok montaj/kaynak, taşlama, temizlik, kumlama ve boyama proseslerinde yürütülmektedir.

Değer akış haritasında kullanılacak veri ve bilgilerin elde edilmesi için fabrikaya muhtelif ziyaretler yapılmıştır. Öncelikle satış rakamları yüksek ürünler incelenerek DAH uygulaması yapılacak ürün ailesi belirlenmiştir. Fabrika sahası gezilerek hammadde bitmiş ürüne kadar üretim akışı incelenmiş ve gerekli bilgi ve veriler elde edilmiştir. Ayrıca çalışanlarla görüşmeler yapılarak ve daha önceki çalışmalar incelenerek ihtiyaç duyulan diğer bilgiler ve veriler temin edilmiştir. Yalın üretimde sıklıkla kullanılan bu veriler: iş istasyonu çevrim zamanları, iş istasyonundaki proses süresi, makine çalışabilirlik oranları, hammadde-ara ürün ve bitmiş ürün stok miktarları, aylık üretim adedi, mesai süresi, değer katan ve katmayan süreler vb. Değer akış haritaları Şekil 2'deki semboller kullanılarak önce el ile kâğıda çizilmiş ve ziyaretler sonucu bazı düzeltmeler yapılmış, daha sonra Visio 2007 kullanılarak elektronik ortama aktarılmıştır.

Müşteriden alınan ürün siparişleri ve tedarikçiye yapılan hammadde sipariş miktarları ve sipariş sıklıkları ile ilgili bilgiler planlama personeli ile görüşülerek edinilmiştir. Farklı istasyonlar arasındaki, hammadde ve sevkiyat alanındaki stok miktarları ve bekleme süreleri yerinde gözlem ve sayma yoluyla tespit edilmiştir. Ayrıca işçiler ve üretim planlama personeli ile görüşülerek bu bilgilerde düzeltmeler yapılmıştır.

4. Uygulama

4.1. İmalat Süreci ile ilgili Bilgiler

Değer Akış Haritalandırma çalışmasında kullanılmak üzere yan iskelet ürün grubu seçilmiştir. Bu ürün en çok satışı yapılan ürün gruplarından birisidir. Yan iskelet; tabut, motor ve braket denilen ana parçalar ve sit denilen alt parçaların montajı ile imal edilen ve mamul olarak paletli iş makinelerinde kullanılan bir üründür. Motor ve braket ana parçaları da ayrı istasyonlarda kendi alt parçalarının montajı ile oluşturulmaktadır. Bu üründe kullanılan tüm parçalar fabrikada ana hammadde olan sacdan kesilip hazırlanmaktadır.

Tüm kaynak ve montaj işlemleri yan iskelet ürününe tahsis edilmiş istasyonlarda yapılmaktadır. Diğer işlemlerde farklı ürün grupları ile ortak tezgâh/makineler kullanılmaktadır.

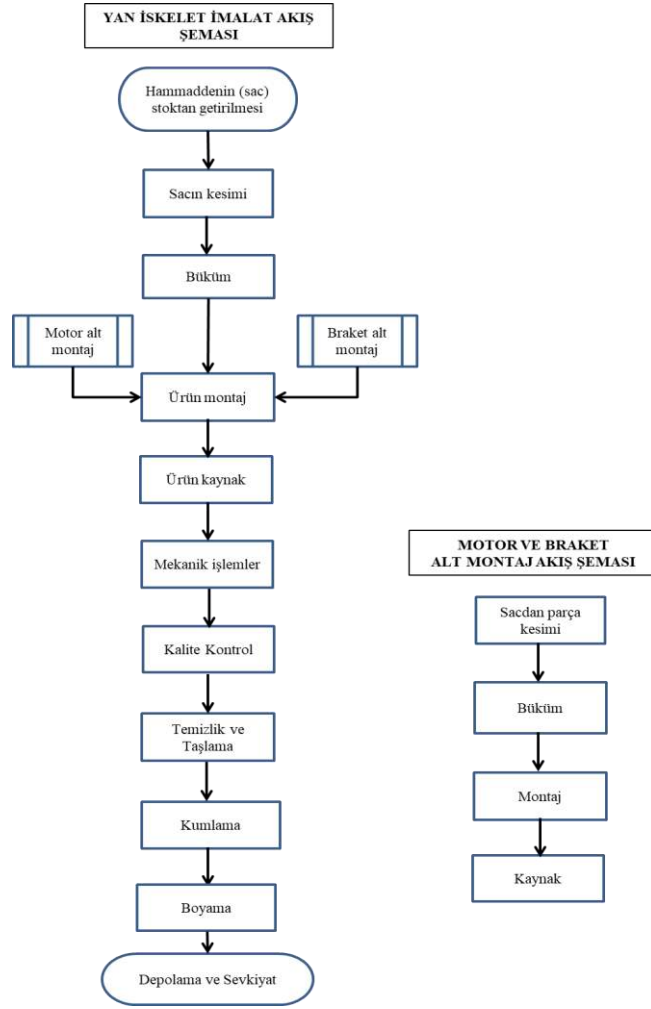
Yan iskelet imalatı, motor ve braket alt montajına ait süreç akış şemaları Şekil 3'te gösterilmiştir.

Üretim planlama biriminden gelen günlük kesim programına göre uygun ebattaki sac, hammadde stok alanından getirilir ve kesim makinesine yerleştirilir. Daha sonra üretim planlama birimince hazırlanan ve fireyi en aza indirmeyi hedefleyen kesim programı makineye bir harici bellekle yüklenir. Bu programa göre makine farklı ebatta ve şekillerde parçaları sacdan keser. Kesim bittikten sonra bu parçalar çıkarılır ve kalan metal fire ayrılır ve hurda olarak satılmak üzere başka bir alanda biriktirilir.

Kesimi yapılan parçalarda eğer bükme veya döndürme işlemi yapılacaksa bu işlemin yapılacağı makinelerin önüne getirilir. Bu makinelerde bükme-döndürme işlemi gerçekleştirildikten sonra ya montaj istasyonuna ya da ara stok bölgelerine transfer edilir. Diğer parçalar ise ya doğrudan montaj-kaynak atölyesine gönderilir veya ara stok bölgelerinde biriktirilir.

Braket ve motor ana parçaları ana montaj öncesinde kendi istasyonlarında montaj ve kaynak işlemlerine tabi olarak imal edilir ve ana montaja hazır hale getirilirler.

Ana montaj istasyonunda tabut, braket, motor ve sit parçalar tezgâh (jig) üzerinde manüel olarak bir araya getirilir ve geçici kaynak ile birleştirilir. Montajı gerçekleştirilen ürün sırasıyla kök kaynak, robotik kaynak, manüel kaynak, seat montaj ve yeniden manüel kaynak işlemlerine tabi tutulur. Boyutsal ve düzensel hata ve kusurları düzeltmek ve tashih için doğrultma işlemi, kaynak kusurlarını düzeltmek ve sonraki adıma hazırlık için için ön taşlama işlemi uygulanır. Kaynaktan sonra vida delikleri açılmak üzere mekanik işlemler atölyesine transfer edilir. Mekanik işlemlerden geçen ürün tekrar montaj-kaynak atölyesine getirilir. Burada kalite kontrol birimince boyutsal kontroller gerçekleştirilir ve düzeltilmesi gereken kısımlar işaretlenir. Temizlik-taşlama istasyonunda hem kalite kontrolün talep ettiği düzeltme işlemleri hem de temizlik-taşlama işlemleri gerçekleştirilir. Daha sonra boyama öncesi kumlama işlemi gerçekleştirilir. Kumlamadan sonra tekrardan temizlik-taşlama ve son kontrol yapılır. En son aşamada ürün boyanır ve sevkiyat programına göre sevk edilmek üzere sevkiyat alanına getirilir.

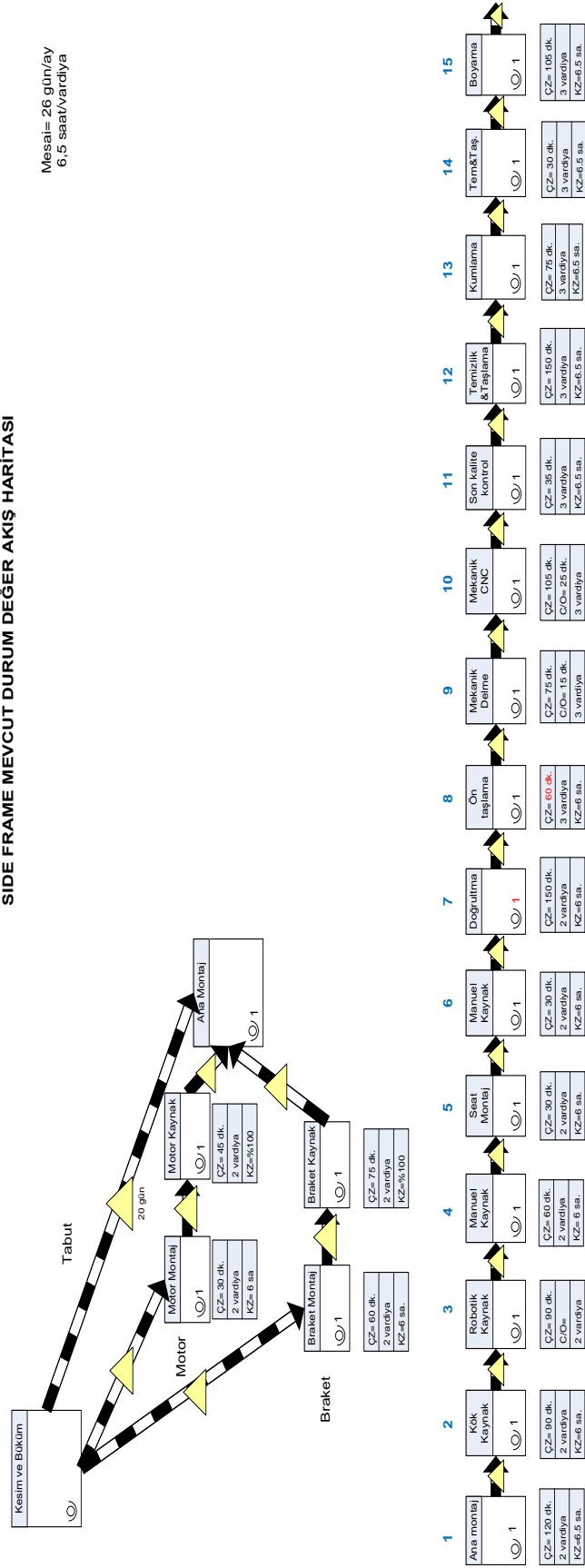


Şekil 3: Yan iskelet üretim akış şeması

4.2 Değer Akış Haritaları

Elde edilen bu bilgiler ve veriler sonucunda mevcut durum DAH Şekil 4'deki gibi oluşturulmuştur.

SIDE FRAME MEVCUT DURUM DEĞER AKIŞ HARİTASI



Şekil 4: Yan iskelet mevcut durum değer akış haritası

Üretim ve kalite problemleri

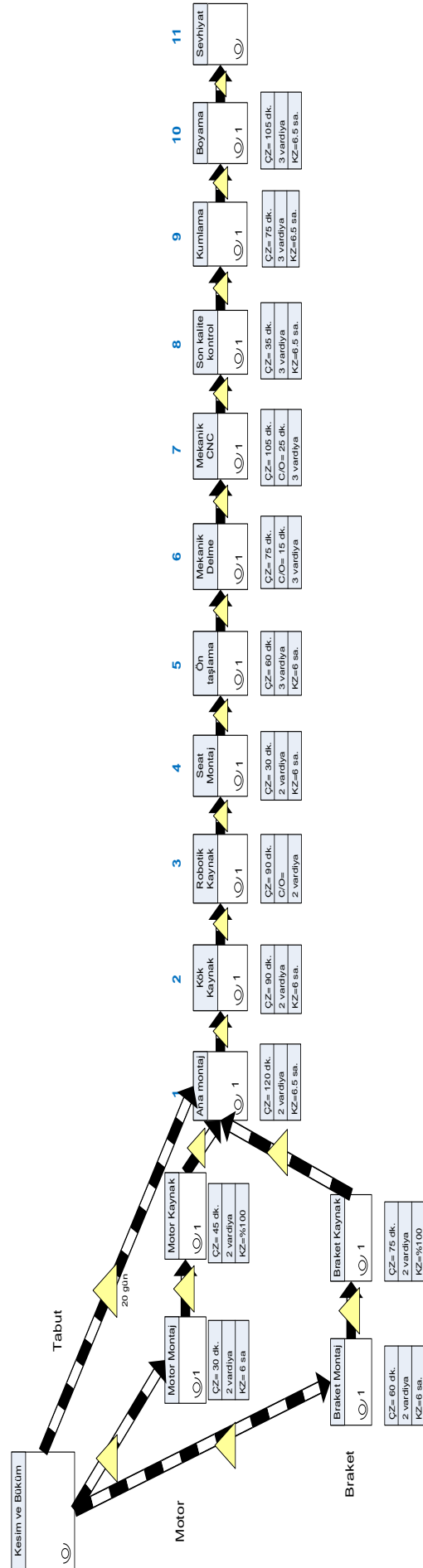
Mevcut durumda, hammadde temininde tedarikçi şartlarından dolayı sipariş sıklığının az ve sipariş miktarının yüksek olması, dolayısıyla çok fazla hammadde ve yarı mamul stoku bulunması, uzun çevrim zamanları, uzun üretim akış zamanı, yeniden işleme ve tashih uygulamalarının sıklığı, operatör kaynaklı ve kaynak işleminin doğasından kaynaklı proses değişkenliğinin yüksek olması, ürünlerin hatlarda izlenebilirliğinin zor olması gibi problemler tespit edilmiştir.

Yukarıda sayılanlar içinde üretim hataları nedeniyle tamamen israf olarak nitelendirilebileceğimiz tashih işlemlerinin yaygınlığı ve tashihin üretim akışının bir parçası haline gelmiş olması, öncelikli olarak ele alınması gereken bir problem olduğunu göstermektedir.

A3 düşünce modeli ile bu öncelikli problemin giderilmesi için çalışma yapılmış ve atılması gereken adımlar belirlenmiştir. Atılması gereken adımlar içinde; 1. Operatör ve parça kaynaklı değişkenlikleri azaltacak eğitim, malzeme elleçleme ve ara kontrol faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi, 2. Ana kaynak, robotik kaynak ve ön taşlama süreçlerinin, fikstürlerinin, yazılımlarının yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesi, 3. Proseslerin kontrol altında tutulması için kontrol şemalarının devreye alınması yer almaktadır. Bu adımların gerçekleştirilmesi halinde mevcut durum DAH'de (Şekil 4) yer alan 4, 6, 7, 12 ve 14 numaralı değer katmayan süreçlerin ortadan kalkacağı öngörülmüş ve bu durum gelecek durum DAH Şekil 5'te gösterilmiştir.

SIDE FRAME GELECEK DURUM DEĞER AKIŞ HARİTASI

Mesaj= 26 gün/ay
6,5 saat/vardiya



Şekil 5: Yan iskelet gelecek durum değer akış haritası

5. Sonuç ve Öneriler

Yalın üretimde iki önemli araç-teknik olan değer akış haritalandırma ve A3 düşünmenin birlikte uygulanması ile üretim akış süresinde 360 dk. azalma olacağı öngörülmektedir. Üretim akış süresinin kısalması ile müşteri talebine daha hızlı cevap verilmesi, müşteriye daha sık sevkiyat yapılması mümkün olacaktır.

Öneriler ve bundan sonra yapılması gerekenler

- Kesim- büküm ve montaj istasyonları arasında stok miktarını azaltmak için kanban ve çekme sisteminin uygulanması,
- Proseslerde değişkenliğin azaltılması için hem genel üretim akışının hem de iş istasyonlarındaki iş adımlarının gözden geçirilerek tekrardan düzenlenmesi,
- Ana montajdan sonraki istasyonlarda hat dengeleme çalışması ve parçaların FIFO prensibine göre akması için düzenleme yapılması
- Kuruluşta iyileşmeleri görmek, takip etmek, raporlamak için yalın performans ölçütlerinin belirlenmesi ve performans ölçüm sistemi kurulması,
- Üretim hatlarında izlenebilirliği ve üretim kontrolünü sağlamak üzere iş emri uygulamasına geçilmesi,
- Operatörlerin yalın üretim ve yalın dönüşümde yer alması, sürecin bir parçası olması ve çoğul becerilere kavuşması için eğitimler verilmesi.

Kaynakça

- Carvalho, R., Alves, A., Lopes, I. (2011). Principles and Practices of Lean Production applied in a Metal Structures Production System, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol I
- Karim, A. N. M., Jaafar, A. A. B., Abdullah, M. A. I., Haque, M., Ali, M. Y., Azline, S. A. (2012). Applying Value Stream Mapping for Productivity Improvement of a Metal Stamping Industry, *Advanced Materials Research*, 576, 727-730.
- Matt, D. T. (2013). Extension of the Value Stream Mapping approach to the comprehensive design of a lean sheet metal manufacturing system: an industrial case study, *Key Engineering Materials*, 549, 537-544.
- Reddy, G. S., Lingareddy, H., Jagadeeshwar, K. (2013). Value Stream Mapping in a Manufacturing Industry, *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 4(2), 20-23.
- Rasi, R. Z. RM, Abdullah, R., Omar, N., Mohamed, S. (2014). Value Stream Mapping using Simulation at Metal Manufacturing Industry, *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2455-2464.
- Nandikolmath, T., Pareek, P. K., Kumara, V. (2012). Implementation of a Lean Model for carrying out Value Stream Mapping in a Manufacturing Industry, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 1(2), 88-95.
- Joshi, R. R. and Naik, G. R. (2012). Process Improvement by using Value Stream Mapping: A Case Study in Small Scale Industry, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 1(5), 1-10.
- Patel, N., Chauhan, N., Trivedi, P. (2015). Benefits of Value Stream Mapping as A Lean Tool Implementation Manufacturing Industries: A Review, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(8), 53-57.
- Bulut, K., ve Altunay, H. (2016). Değer Akışı Haritalandırma Yöntemi: Mobilya Sektöründe Bir Uygulama, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 8(1), 48-55.
- Doğan, N. Ö., ve Ersoy, Y. (2016). Hizmet Sektöründe Değer Akış Haritalama Uygulaması: Bir Üniversite Araştırma ve Uygulama Merkezi Örneği, *Sosyal Bilimler Dergisi*, 48, 103-116.
- Birgün, S., Gülen, K. G., Özkan, K. (2006). Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akışı Haritalama Tekniğinin Kullanılması: İmalat Sektöründe Bir Uygulama, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9), 47-59.
- Adalı, M. R., Kiraz, A., Akyüz, U., Halk, B. (2017). Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akışı Haritalama Tekniğinin Kullanılması: Büyük Ölçekli Bir Traktör İşletmesinde Uygulama, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 242- 251.
- Maraşlı, H., Akça, C., Kama A. (2016). Yalın Düşünce ve Değer Akış Haritalamasının Dondurma Üretim İşletmesinde Uygulanması, *International Journal of Academic Value Studies*, 2(5), 106-120.
- Sarı, E. B. (2018). Üretim Hattı Tasarımında Değer Akış Haritalama Tekniğinin Kullanılması, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 56, 67-81.
- Özveri, O., ve Güçlü, P. (2015). Değer Akış Haritalamada Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Uygulaması, *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(1), 1-12.
- Rother, M., ve Shook, J. (1999). *Learning to See*, Massachusetts: The Lean Enterprise Institute.
- Womack, J.P., ve Jones, D.T. (2017). *Yalın Düşünce*, Oygur Yamak (çev.), İstanbul: Optimist Yayınları.
- Liker, J.K. (2005). *Toyota Tarzı 14 Yönetim İlkesi*, Ümit Şensoy (çev.), İstanbul: Orhan Holding Yayınları.
- Akçaoğlu, Ö. (2012). *Değer Akış Haritalarında Belirlenen Darboğazların Çözümü için Bayes Ağları ile Senaryo Üretimi: Çamaşır Makinası Fabrikasında Bir Uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/5778>



Investigation of the Activation Conditions of Kutahya-Unye Bentonite for Removal of Nickel from Waste Water

Meltem Yıldız^{1*}

¹ Kocaeli University, Faculty of Engineering, Chemical Engineering Department, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0002-9442-4992)

(First received 2 May 2019 and in final form 31 May 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.559920)

ATIF/REFERENCE: Yıldız, M. (2019). Investigation of the Activation Conditions of Kutahya-Unye Bentonite for Removal of Nickel from Waste Water. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 229-234.

Abstract

Any impurities above a certain concentration in water are harmful to the living spaces of living things. Therefore, the removal of pollutants in the water is very important in terms of maintaining the lives of living things. Nickel has an important place in metal coating due to its hardness, corrosion resistance and brilliance. Significant quantities of nickel are present in industrial and urban wastewater, particularly in steel enterprises and the electroplating industry waste waters. This study aims to investigate the effects of thermal and chemical activation conditions of Kutahya-Unye bentonite for removing nickel from wastewater. The bentonite samples were activated by two different methods: (i) thermal activation, (ii) acid activation. The operating range of the thermal activation studies was determined as 100, 300, 500, 700 °C. In the acid activation studies, the samples which were thermally activated, were entreated with 0.5 and 1 M HCl solutions. And, also acid activation was studied at different times to investigate the activation time on bentonite properties. The effects of temperature and acid treatment on calcium based-bentonite samples were investigated by Fourier Transform Infrared (FT-IR) between the region of 4000-400 cm⁻¹. It was observed that increasing the activation temperature has increased the nickel amount at the waste water. The optimal activation time for nickel removal from wastewater was determined to be 120 minutes, which resulted in the use of activation temperature 700 °C and 0.5 M HCl acid. It was concluded that if we can increase the adsorption capacity and applicability, Ca-bentonite may be a promising clay for the removal of nickel in the wastewater stream.

Keywords: Bentonite, Waste water, Nickel.

1. Introduction

Nowadays, very rapid advances in industry and the increase in population growth have led to the pollution of the atmosphere and water resources in our world. The fact that water is obligatory for human life and that it is used in every area of life and continuously, reveals the importance of water quality required for water. Any impurities above a certain concentration in water are harmful to the living spaces of living things. Therefore, the removal of pollutants in the water is very important in terms of maintaining the lives of living things [1]. Waste water from many industries, such as chemistry, mining and metallurgy, has become an increasingly serious problem for the environment. The substances, which are poisonous, can lead to diseases that cause harm to human health and even death if they are found in low concentrations in water [2].

There are various toxic heavy metals in the wastewater of the metal industry. Due to the frequent occurrence of these metals in wastewater, removal of heavy metals such as "Nickel" from aqueous solutions is necessary. Nickel has an important place in metal coating due to its hardness, corrosion resistance and brilliance. Especially iron, steel and copper are coated with nickel. It is used in the construction of instruments used in laboratories due to its resistance to chemical substances. Nickel is also a catalyst in many other organic reactions. Nickel, one of the heavy metals causing pollution in the water, constitutes 2 % by weight of the ground shell. Besides, the waters in the world contain about 3.4x10⁷ kg Ni and the rivers carry 1.35x10⁹ kg. year⁻¹ nickel ion. Significant quantities of nickel (3.8x10⁶ kg. year⁻¹) are present in industrial and urban wastewater, particularly in steel enterprises and the electroplating industry waste

* Corresponding Author: Kocaeli University, Faculty of Engineering, Chemical Engineering Department, Kocaeli, Turkey, ORCID: 0000-0002-9442-4992, myildiz@kocaeli.edu.tr

waters. While the level of nickel in uncontaminated water is generally in the range of 1-3 g.L⁻¹, this value can be increased to 10⁻¹⁵ g.L⁻¹ due to industrial wastewater. Nickel and its compounds have been identified as environmental factors that cause cancers in vivo. Heavy metals, such as nickel, must be removed from drain solutions due to their high presence in wastewater streams [3].

Nowadays, due to its accessibility, low cost and good intrinsic adsorption properties, clays find an increasing application in wastewater treatment as an adsorbent. Bentonite is one of the clay minerals containing montmorillonite. In the literature, the “natural” bentonite has not been found to be effective in the adsorption of contaminants [4] due to its hydrophilic surface properties. So, it has to be activated. Also, there are studies in the literature about removal of heavy metals in the water by using activated “sodium” bentonite as an adsorbent [5-8].

Acid activation is commonly used to improve the adsorption and catalytic properties of natural bentonites. The impurities, such as calcite and dolomite, are removed from the structure by the treatment of montmorillonite with inorganic acids, the exchangeable cations are replaced by hydrogen ions, and some of the Al ions in the tetrahedral layer dissolve some cations of Fe, Al and Mg in the octahedral layer. As a result, the acid activation process results in an increase in the pore diameters at the bentonite surface and in the surface area and adsorption capacity up to a certain amount of this application.

Although the changes in the structural properties of bentonites after acid activation have been studied extensively in the literature [9-14], the studies on nickel adsorption of these samples are very limited. Acid activation of bentonite with HCl or H₂SO₄ is an important process to increase the surface area and porosity of bentonite as well as to increase the absorptive properties [15]. For this reason, this study aimed to investigate the nickel adsorption properties of bentonites after thermal and acid modification.

2. Experimental

2.1. Materials

The bentonite samples used in the study was obtained from Unye Madencilik from the Ordu-Unye region of Turkey. It was crushed, grained and sieved to pass through <45 μm size. It was not active in its natural state. Table 1 shows the chemical composition of unactivated Unye Ca-bentonite. All the chemicals as hydrochloric acid and NiCl₂.6H₂O were obtained from Merck and the chemicals used in the experiments were acquired as having high purity, and they were used directly without any purification. The Ni (II) stock solutions (200 mg/L) were prepared by dissolving a certain amount of the separately salts in double distilled water.

Table 1. Chemical composition of unactivated Ca-bentonite.

Compound	Chemical composition (%)
SiO ₂	73.50
Al ₂ O ₃	13.50
Fe ₂ O ₂	0.76
TiO ₂	0.13
CaO	1.72
MgO	1.67
K ₂ O	1.17
Na ₂ O	0.32
P ₂ O ₄	0.02

2.2. Characterization

Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (Perkin Elmer, Spectrum 100, USA) was used to understand the effect of activation of the all activated bentonites. The FTIR spectra were set in 4000-400 cm⁻¹ and by using 4 cm⁻¹ spectral resolution in the transmittance mode. The infra-red spectra of the both raw and modified bentonites were obtained by placing the samples, that are in the powder form, on the Diamond crystal to get FTIR spectra.

Rigaku, Miniflex 2 (Japan) analyzer was used to get X-Ray diffraction (XRD) analysis to investigate crystal structure of materials. 2θ values were scanned between 100 and 800 by using a 0.010/min step size and CuKα radiation (λ = 0.15418 nm) at 45kV/40mA.

2.3. Activation of Raw Bentonite

Natural bentonite was activated using thermal and acidic activation methods to improve adsorptive properties.

2.3.1. Thermal Activation

Bentonite samples each having a mass of 10 g were thermally activated by using muffle furnace and heating the samples to the desired temperature in a range of 100-700 °C. The temperature was raised steadily to the desired temperature within 5 minutes. The

samples were heated to the desired temperature and kept at this temperature for 30 to 120 minutes to investigate the effect of the activation time. The heated samples were then cooled and stored in a desiccator.

2.3.2. Acid Activation

0.5 M and 1 M HCl solutions were prepared for acid activation studies. At the beginning of the studies, 5 grams of the samples which were activated at 100, 300, 500, 700 °C and 30, 60, 90, 120 min. respectively, were weighted for acid activation studies. 100 ml of 0.5 M HCl solutions were taken in 4 beakers in a volume of 500 ml. Each sample was taken up in the acid solution and stirred for 15 minutes at a stirring speed of 500 rpm by using a magnetic stirrer. The samples were vacuum filtered and washed twice. The samples were dried at 100 °C for 24 hours, and they were bottled and stored in an air-tight environment. Then all the procedures were repeated using the acid solution at a concentration of 1 M HCl.

2.4. Experiments on Aqueous Media

Wastewater samples were synthetically prepared in laboratory environment. It was prepared a 2×10^{-2} M Ni^{+2} solution by using $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ as a stock solution. Water samples were prepared using this stock solution. Then, the absorbance values of all these solutions were confirmed by using a UV-spectrophotometer.

The capacity of activated Ca-bentonite samples to adsorb metal ions in aqueous media was investigated. The studies were carried out to remove Ni^{+2} from waste water. The activated bentonite samples were mixed with heavy metal containing wastewater samples in a magnetic stirrer for 2 hours at 200 rpm. UV-spectrophotometer was used to obtain the absorbance values of the receiving samples. Concentration values were calculated by drawing a calibration curve using the Lambert-Beer law.

3. Results and Discussion

3.1. Effect of Activation Temperature

To determine the effect of thermally activated Ca-bentonite samples on removing of nickel amount at waste water, the selected temperatures were 100, 300, 500 and 700 °C. Fig.1 shows the effect of activation temperature on removal efficiency of nickel by bentonite samples. In case of the thermally activated samples were used, the optimum nickel removal temperature for bentonite samples was determined as 700 °C. Increasing the temperature from 100 to 700 °C resulted in a decrease of almost half the amount of nickel in the wastewater.

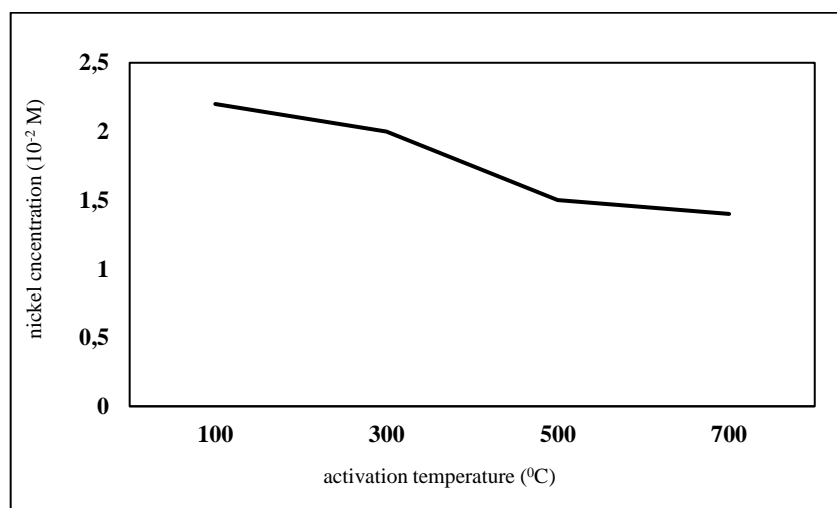


Figure 1. Effect of activation temperature on bentonite samples that were activated for 120 min.

As 700 °C has been recognized as optimum activation temperature, it was decided to use acid activation method on the thermally activated samples by using HCl at two different concentrations. Similar results have been obtained with both acid amounts (0.5 and 1 M) as seen at Fig.2.

The optimum activation conditions for nickel removal from wastewater was observed by using thermal activation at 700 °C followed by acid activation by using 0.5 and 1.0 M HCl. Acid activation caused a decrease from 1.4×10^{-2} M to 1.0×10^{-2} M by activating samples (thermally activated bentonites) with acids.

The FTIR spectra, obtained for the bentonites activated by the afore-mentioned methods, are also acquired. Figure 3 shows the FTIR spectra of the bentonites thermally activated at 100, 300, 500 and 700 °C during 120 min followed by acid activation by using 1 M HCl. These spectra help us understand the effect of activated samples on the chemical structure of bentonite.

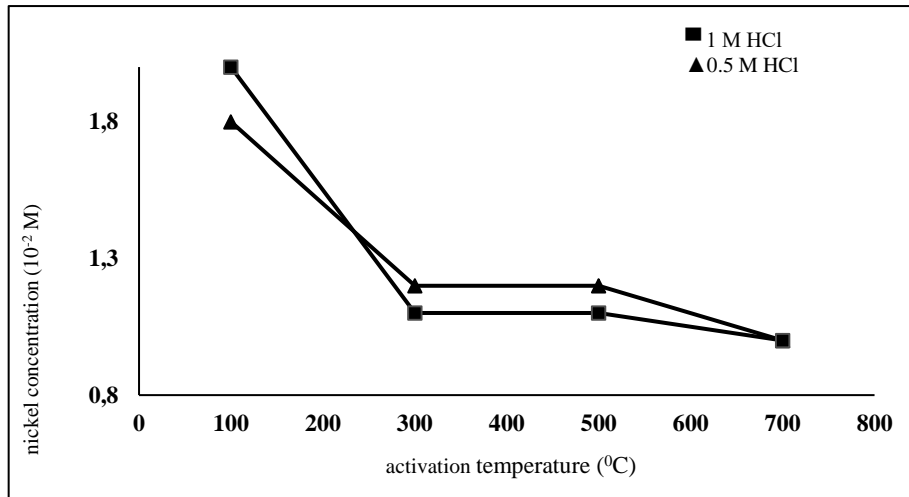


Figure 2. Effect of activation temperature and acid on bentonite samples that were activated for 120 min.

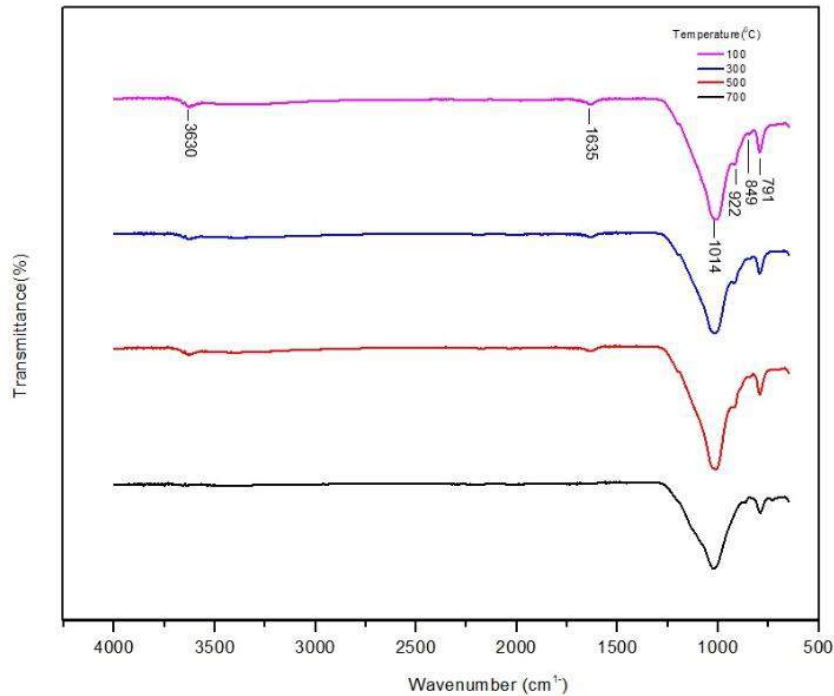


Figure 3. FTIR results of the samples that were activated at different temperatures during 120 min and 1 M HCl

The increase in activation temperature resulted with a decline at the intensity of peaks at 3630 cm⁻¹, that belongs to Al–OH–Al and Al–Mg–OH stretching vibrations, and at 1635 cm⁻¹, that belongs to H–O–H bending [5]. It was observed that the peak of Si–O–Si band remained unchanged at a wavelength of 1014 cm⁻¹. As the bentonite was heated to a temperature higher than 500 °C, the bands at 922 cm⁻¹ disappeared. The other peaks remained constant. The results of FTIR exposed the effect of temperature rise to the disintegration of the structure at a constant acid concentration and reaction time.

FT-IR results show that there are three main absorption regions: The IR spectrum band at 3630 cm⁻¹ shows the stretching vibrations of structural OH groups of montmorillonite. A peak, caused by Si–O stretching (in-plane) vibration of bentonite mineral, was observed at a wavelength of 1014 cm⁻¹. The absorption band, obtained at 1635 cm⁻¹ wavelength, is referred to the OH dissolution of the water. Also, IR peak at 922 cm⁻¹ was referred to Al–OH–Al. Quartz was also existing as specified by the bands at 790 cm⁻¹ [10].

3.2. Effect of Thermal Activation Time

In order to investigate the effect of thermal activation time, both samples that were activated at 0.5 M and 1 M HCl solutions and at 700 °C, were used for nickel retention from waste water. Fig.4 shows the effect of thermal activation time on removal efficiency of nickel by activated bentonite samples.

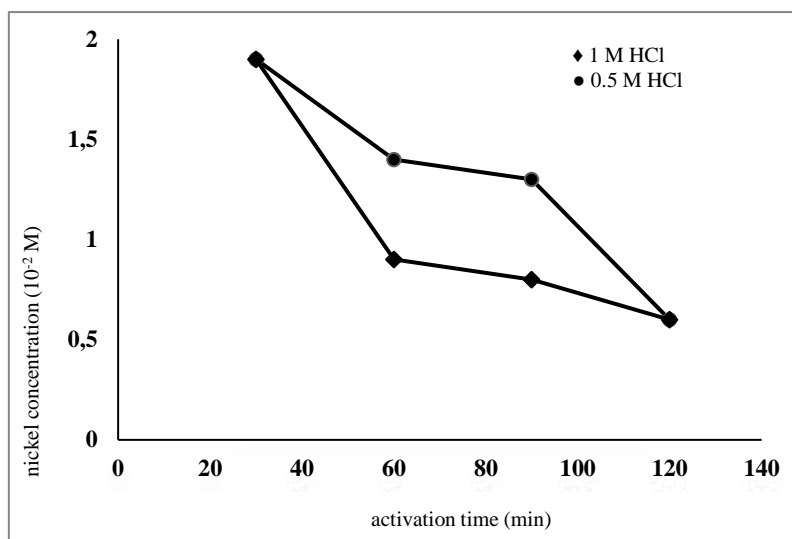


Figure 4. Effect of activation time with bentonite samples that was firstly activated at 700 °C

These results showed that the optimal activation time for bentonite samples by using both 0.5M and 1M HCl was found to be 120 min. The samples that were activated by using 1 M HCl solution ensured more nickel retention than the samples that were activated by using 0.5 M HCl. The samples which were activated at 0.5 M and 1 M HCl caused 0.6×10^{-2} M nickel concentration at 120 min.

Figure 5 shows the FTIR spectra of the bentonites thermally activated at 700 °C during 30, 60, 90 and 120 min and then used 1 M HCl for acid activation. The bands at 3630 and 1635 cm^{-1} were vanished by the time the bentonite samples were heated to 700 °C at all activation times. As it can be seen at the Figure 5, activation time has not show any effect on the structure of the bentonite. In figure 5, all samples give same spectra, there has been observed no significant difference. Figure 6 shows the XRD results of the of the sample that was activated at 700 °C and 1 M HCl.

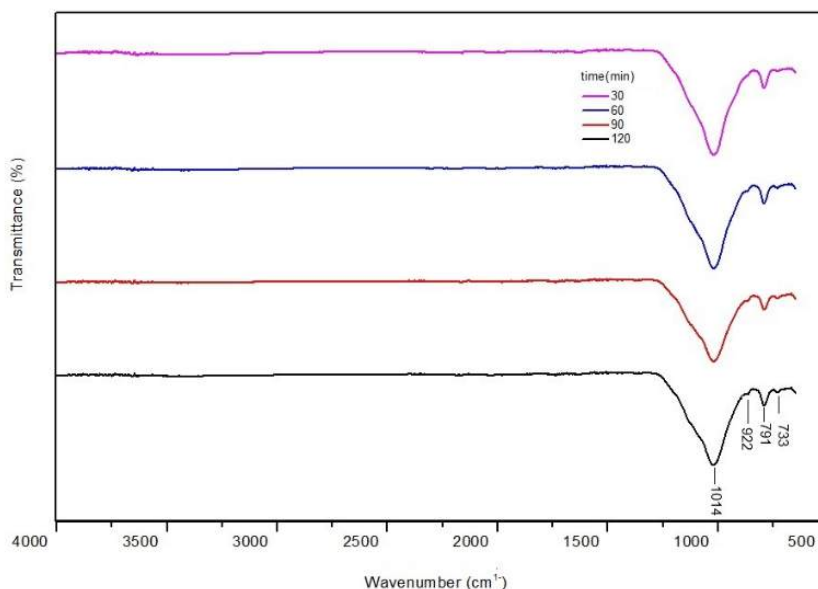


Figure 5. FTIR results of the samples that were activated at different times 700 °C and 1 M HCl

Montmorillonite and cristobalite structures have occurred at high temperatures due to XRD graphs of the sample that was activated 700 °C and 1 M HCl. This result can be the main reason of the high nickel extracting from the waste water.

4. Conclusion and Recommendations

In this study, a new bentonite activation method (that can be found at Ordu/Turkey) was investigated for the aim of removing the nickel amount from wastewater streams. Bentonite clays were activated by simple thermal and acid activation under mild synthetic conditions. After the samples were activated, FT-IR analysis was carried out and the characteristics were examined.

The results deduced that the activation of Ca-bentonite thermally at 700 °C for 120 min and then with an acid (1 M HCl) increased the nickel adsorption capacity of raw bentonite seriously. Based on the results of this study, which was conducted due to the search for a low cost adsorbent, it can be said that the natural Ca-bentonite may be the ideal adsorbent for wastewater process with the development of the activation agents. In the future studies the activation of bentonite can be studied for more acid concentration and longer activation time values to identify the acid treatment effect.

Our test results, obtained as a result of both thermal and acidic activation conditions, executed that if we increase the adsorption capacity and applicability, Ordu/Ünye Ca-bentonite may be a promising clay for the removal of nickel in the wastewater stream.

References

- Dinçer, I. 2002. Technical, environmental and exergetic aspects of hydrogen energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy* 27(3), 265-285.
- [1] Al-Shahrani, S.S. (2012). Treatment of wastewater contaminated with nickel using Khulays activated bentonite, *International Journal of Eng. & Techn.*, 12(4), 14-18.
- [2] Ertuğral, F., Yakut, H., Tabar, E., Akkaya, R., Demirci, N., Zenginerler, Z. (2015). Measurements of Radon Content in the Thermal Waters in Sakarya, *Acta Physica Polonica A*, 128(2), 251-252.
- [3] Madoni, P. (2000). The acute toxicity of nickel to freshwater ciliates, *Environmental Pollution*, (109), 53-59.
- [4] Castrillo, N., Mercado, A., Volzone, C. (2015). Sorption Water By Modified Bentonite, *Procedia Materials Science*, (8), 391-396.
- [5] Zong, P., Wu, X., Gou, J., Lei, X., Liu, D., Deng, H. (2015). Immobilization and recovery of uranium(VI) using Na-bentonite from aqueous medium: equilibrium, kinetics and thermodynamics studies, *Journal of Molecular Liquids*, (209), 358-366.
- [6] Vhahangwele, M., Mugeru, G.W. (2015). The potential of ball-milled South African bentonite clay for attenuation of heavy metals from acidic wastewaters: Simultaneous sorption of Co²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Pb²⁺, and Zn²⁺ ions, *Journal of Env. Chem. Eng.*, 3, 2416-2425.
- [7] Yildiz, N., Koroglu, F., Calimli, A. (2006). HDTMA-bentonitinin sentez ve karakterizasyonu, *Journal of Eng&Arch.Fac. Eskişehir Osmangazi University*, 19(2), 21-34.
- [8] Nigiz, F.U., Unlu, D., Hilmioglu, N., (2017). Carbon Black Loaded Composite Poly(Dimethyl Siloxane) Membrane Preparation and Application for Hazardous Chemical Removal from Water, *Acta Physica Polonica A*, (132), 693-696.
- [9] Toor, M., Jin, B., Dai, S., Vimonses, V. (2015). Activating natural bentonite as a cost-effective adsorbent for removal of Congo-red in wastewater, *Journal of Ind. and Eng. Chem.*, 21, 653-661.
- [10] Alver, B.E., Alver, O. (2012). Spectral characterization of non-clay minerals found in the clays (Central Anatolian-Turkey). *Spectrochimica Acta Part A*, 94, 331-333.
- [11] Pawar, R.R., Lalmunsiam, Bajaj, H.C., Lee, S.M. 2(016). Clay catalysed rapid valorization of glycerol towards cyclic acetals and ketals, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 34, 213-223.
- [12] Maghni, A., Ghelamallah, M., Bengahem, A. (2017). Sorptive Removal of Methyl Green from Aqueous Solutions using Activated Bentonite, *Acta Physica Polonica A*, 132, 448-450.
- [13] Bellifa, A., Makhlof, M., Boumila, Zh.H. (2016). Comparative Study of the Adsorption of Methyl Orange by Bentonite and Activated Carbon, *Acta Physica Polonica A*, 132, 466-468.
- [14] Tuğrul, B., Erentürk, S., Hacıyakupoğlu, S., Karatepe, N., Altinsoy, N., Baydoğan, N., Baytaş, F., Büyük, B., Demir, E., Gedik, S. (2015). Kinetic and Thermodynamic Behavior of Selenium on Modified Bentonite and Activated Carbon using Radiotracer Technique, *Acta Physica Polonica A*, 128(2), 180-181.
- [15] Nones, J., Riella, H.G., Trentin, A.G., Nones, J. (2015). Effects of bentonite on different cell types: A brief review, *App. Clay Sci.*, 105-106, 225-230.



Fiziksel Değişimlerin Li-ion Batarya Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Ömer Cihan Kıvanç^{1*}

¹ İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0880-134X)

(İlk Geliş Tarihi 9 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 16 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.551456)

ATIF/REFERENCE: Kıvanç, Ö. C. (2019). Fiziksel Değişimlerin Li-ion Batarya Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 235-241.

Öz

Batarya teknolojilerindeki ilerlemeler ile birlikte li-ion bataryaların ağırlık, hacim başına depoladıkları enerji miktarı artmakta ve kontrol sistemlerinde önemli gelişmeler meydana gelmektedir. Bunun yanında li-ion batarya fiyatlarının düşmesi ile elektrikli araçlardan kullanıcı elektroniğine kadar birçok alanda li-ion bataryaların kullanım oranının arttığı görülmektedir. Ancak bu bataryaların yüksek performanslı kullanımı için sağlık, doluluk durumlarının sürekli takibi ve denetlenmesi gerekmektedir. Bu denetleme yaygın olarak hücrelerin gerilim, akım ve sıcaklık değerini kullanarak yapılmaktadır. Buna karşılık bataryanın güvenlik durumunun takibinde hücrelerin şişmesi ve fiziksel yıpranmalarında bir fonksiyon girdisi olarak kullanılması gerekmektedir. Özellikle taşınabilir telefon, bilgisayar gibi cihazlarda kullanıcının doğrudan bataryaya temas etmesi güvenlik problemi yaratmaktadır. Kullanıcıların sahip olduğu farklı şarj cihazları kullanma, hızlı şarj ve şarj esnasında kullanım alışkanlıkları sebebiyle bu güvenlik problemleri artmaktadır. Ayrıca elektrikli araçlarda seri/paralel paketlenen hücreler şişerek komşu hücreler üzerindeki basıncı arttırmaktadır. Yapılan çalışmada gerinime bağlı değişimlerin gözlemlenmesi ve etkilerinin incelenmesi amacıyla yüksek hassasiyetli gerinim, sıcaklık sensörü ve Z-Wave haberleşme modülüne sahip bir sistem tasarlanmıştır. Pazarda yaygın olarak kullanılan bir taşınabilir telefonun bataryası üzerinde yaşlandırma testleri yapılmış ve 4.58 mm şişme sağlanmıştır. Fiziksel değişime maruz kalmış batarya ile yeni bataryanın davranışları aynı şarj/deşarj döngülerine tabi tutularak şişmenin etkileri sunulmuştur. Yapılan ölçümler ile sıcaklık, şişme miktarı, açık devre gerilimi ve şarj/deşarj süresinin değişim miktarları detaylıca belirtilmiştir. Şişmeye maruz kalmış bataryanın şarj vedeşarj sırasında şişme miktarının değişimi ile yüzeyde ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar sebebiyle kullanıcı için tehlikelerin ortaya çıktığı gösterilmiştir. Bu durum taşınabilir telefonlar ve bilgisayarlarda bir güvenlik faktörü olarak şişmenin sürekli takip edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Li-ion batarya, Batarya şişmesi, Güvenlik durumu, Sağlık durumu.

Investigation of the Effects of Physical Changes on Li-ion Battery

Abstract

With the advances in battery technologies, the li-ion battery's amount of energy storage per unit volume and weight increases and significant improvements occur in their control systems. Besides, the usage rate of li-ion batteries increases due to the decrease in prices of li-ion batteries in many areas from electric vehicles to user electronics. However, for high-performance use of these batteries, continuous monitor and control of their states of health and charge are needed. This control is commonly performed by using the voltage, current and temperature of the cells. In contrast, swelling and physical deformations of the cells should be used as function inputs in the monitoring of the state of safety condition. Especially for devices such as mobile phones and portable computers which directly touch to person, causes serious safety problems. In addition, the user's various usage habits which are using different battery chargers, fast charging and using in the charging process, lead to safety problems. In addition, in the electric vehicles, the series/parallel packaged cells swell and thus increase the pressure on the neighboring cells. In this study, a system with a high

* Sorumlu Yazar: İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0880-134X, cihan.kivanc@okan.edu.tr

precision strain gauge, temperature sensor and Z-Wave communication module has been designed to observe the effects of strain changes and to investigate their effects. Aging tests have been performed on one single battery used in the market and a 4.58 mm swelling has been achieved. The behavior of the new battery and aged battery which has physical deformation is applied to the same charge/discharge cycles and the effects of the swelling are presented. Measurements of temperature, swelling amount, open circuit voltage and charge/discharge time of the amount of change are stated in detail. It has been shown that dangers occur for the user due to the high temperatures on the surface caused by the amount of swelling of the battery exposed to swelling during charge and discharge. This situation reveals the necessity of continuous monitoring of the swelling as a safety factor in mobile phones and portable computers.

Keywords: Li-ion battery, Battery swelling, State of safety, State of health.

1. Giriş

Li-ion bataryalar gerek yüksek güçlü uygulamalarda gerekse de taşınabilir düşük güçlü uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Chen ve ark., 2014). Bunun en önemli sebebi li-ion pillerin sahip olduğu yüksek güç yoğunluğu ve yüksek verimli şarj/deşarj karakteristiğine sahip olmasıdır (Horiba, 2014). Bütün avantajlarına rağmen özellikle fiziksel zorlanmalara karşı dayanımlarının düşük olması, uygulamalara özgü ek güvenlik önlemleri alınması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır (Berecibar ve ark., 2016). Örneğin, elektrikli araçlarda hücrelerin iyi paketlenmesine ve darbelere karşı koruyucu güvenlik önlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Knobloch ve ark., n.d. & Koch ve ark., 2018). Buna karşılık taşınabilir mobil cihazlarda fiziksel darbe ve değişimlere karşı sadece koruyucu kılıflar kullanılmaktadır. Ancak taşınabilir telefon ve bilgisayar gibi sistemlerde orijinal şarj cihazının kullanılmaması, düzensiz şarj ve şarjdayken bu cihazların kullanımı bataryanın şişmesine sebep olarak batarya patlamasına ve ömür, kapasite azalmasına neden olmaktadır (Hoque ve ark., 2015). Özellikle kullanıcı ile doğrudan temas eden bu cihazlar olası batarya patlamalarında ciddi yaralanmalara sebep olabilmektedir. Mobil cihazlarda ortaya çıkan tehlikelerin tahmin edilmesi ve önleyici fonksiyonlar çoğunlukla açık devre gerilimi ve sıcaklık ölçümleri ile yapılmaktadır (Hoque & Tarkoma, 2015). Daha ileri ve karmaşık sistemlerde ise batarya sağlık durumu üzerine çoğunlukla iç direnç ve kapasite ölçümleri ile öngörüler yapılmaktayken şişmesinde bir batarya sağlık fonksiyonu parametresi olarak kullanılması ise yaygın değildir (Berecibar ve ark., 2016 & Zhang ve ark., 2018).

Literatürde genel yaklaşımın her ne kadar sağlık durumu, doluluk durumu ve kalan ömür tahminine odaklandığı görülse de son yıllarda güvenlik durumunun incelendiği çalışmalar yer almaktadır (Gor ve ark., 2015). (Hoque & Tarkoma, 2015)'de farklı model ve farklı kullanım sürelerine sahip mobil cihazların bataryaları üzerinde ömür ve açık devre gerilimi ilişkisi üzerine testler yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar ile ömür, güvenlik, pil kapasitesi ve bunun telefon kullanıcılarına olan olumsuz etkileri sunulmuştur. (Oh ve ark., 2016)'da mekanik zorlanmalar ve şarj/deşarj eğrisi ilişkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda li-ion hücreler paketlenmesinde ortaya çıkan zorlanmanın kapasite kaybı, bozulma ve olası arızalara sebep olduğu gösterilmiştir. Özellikle mekanik zorlanmanın en önemli sonucu olan şişmenin modeli kurularak şarj/deşarj sırasındaki yer değiştirme ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda mekanik zorlanmanın şarj ve sağlık durumu ile olan ilişkisi detaylıca sunulmuştur. (Wang ve ark., 2014)'de şarj ve sağlık durumu fonksiyonlarına ek olarak güvenlik durumu için bir fonksiyon oluşturulmuştur. Geliştirilen fonksiyonun girdisi olarak gerilim, sıcaklık ve mekanik bozulmaları ölçen sensörler kullanılmıştır. Yapılan ölçüm ve tahminler ile yaşlanma ve doğal patlama durumları incelenmiştir. (Castillo ve ark., 2016)'da gerçek bir uygulama için deneysel ve uygulanabilir batarya modelleri kullanılarak sağlık durumu analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda yüksek hassasiyetli ölçüm kabiliyeti ile hücrelerin yaşam tahmini, batarya yönetim sisteminde bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır. (Lee ve ark., n.d.)'de yüksek sıcaklıklarda batarya şişmesini algılayıcı bir sistem geliştirilmiştir. Sistemden elde edilen veriler ile şişmenin %80 ve üzeri şarj durumunda arttığı gözlenmiştir. (Farmer ve ark., 2014)'de uzay çalışmalarında kullanılan li-ion hücrelerin her birinin iç basıncının izlenebilmesi için gerinim ölçer ve sıcaklık sensörü bluetooth haberleşme protokolü üzerinden denetlenmektedir. Böylelikle her bir hücrenin denetleme işlemi kablolar yerine kablosuz haberleşme ile yapılmakta ve karmaşıklık ortadan kaldırılabilir. (Zhan ve ark., 2013)'de ise batarya şişmesi yüzey tanımlama analizi ile görüntü işleme tekniği kullanılarak yapılmaktadır. Çalışmada yüzey aydınlatmasındaki yansıma açıları kullanılarak oluşan gerinimler ölçülebilmektedir. (Cheng & Pecht, 2017)'de mikro-gerinim ölçme sensörleri ile hücre yaşlanması ve sağlık durumu ilişkisi analizi yapılmıştır. Çalışmada büyük veri hesaplama tekniği ile elektrotlarda ki mikro-dinamik etkenler ve sonuçlar sunulmuştur. (Knobloch ve ark., n.d.)'de sıcaklık ve şişme arasındaki ilişki farklı şarj çevrimleri için sunulmuştur. Çalışmada hücredeki 6 °C sıcaklık değişiminde 3.5 µm yer değiştirme gözlenmiştir. (Zhao ve ark., 2019)'da ise yavaş ve hızlı şarjın şişmeye olan etkileri sunulmuştur. Yüksekdeşarjda yerel bazı noktalarda %2 üzerinde hücre kalınlığının arttığı görülmüştür. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde yaşlandırma yöntemi ile şişirilmiş bir bataryanın şarj vedeşarj sırasındaki performansı ve fiziksel değişimler karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Yapılan çalışmada ise yüksek hassasiyetli iki gerinim ölçme sensörü, sıcaklık sensöründen oluşan ve Z-Wave haberleşme protokolüne sahip bir modül geliştirilmiştir. Taşınabilir bir telefonda kullanılan aynı iki bataryadan biri yaşlandırma sürecine tabi tutularak fiziksel şişmesi sağlanmıştır. 4.58 mm şişmesi sağlanan batarya ile sağlıklı bataryaya sabit akım şarj/deşarj uygulanmış ve sıcaklık değişimi, açık devre gerilimi değişimi, şarj/deşarj zamanı ile gerinim miktarı değişimi sunulmuştur.

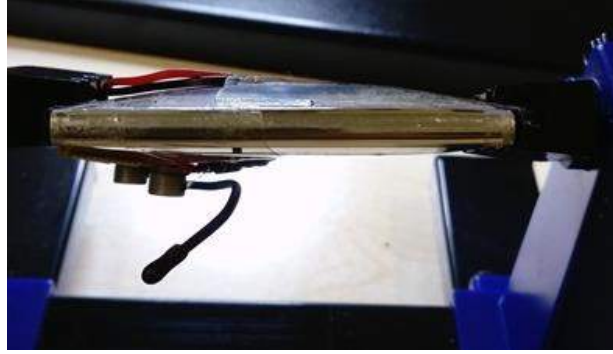
Çalışmanın geri kalan kısmında 2. başlıkta batarya yaşlandırma süreci ve test metodu sunulmuştur. 3. başlıkta yapılan testler ve araştırma sonuçları elde edilirken bu sonuçlar tartışmaya açılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en fazla şişmenin aşırı şarj esnasında meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca hücrelerden yüksek akım çekildiğinde bataryanın ısı kaynağı olarak davrandığı ve bu durumun hem hücrenin kendisi hem de çevresindeki olası komşu hücrelerde ısınmaya yol açacağı görülmüştür. Bu durumda elektrikli araç gibi uygulamalarda paketlenmiş bataryalar, birbirlerine ısı aktarımı yapabilmekte ve çalışma sıcaklığının dışına çıkma eğilimi gösterebilmektedir. Bu durumda özellikle şişme eğilimi gösteren hücreler ek ısı ile birlikte patlama riski taşımaktadır. Bu sıcaklık artışı ve şişme patlama dışında iç direnç artışına sebep olmakta ve bataryanın hızla boşalmasına sebep olmaktadır. Yapılan çalışmaların sonucunda özellikle bu tehlikeler doğrultusunda paketlenmiş bataryaların her bir hücrenin anlık olarak fiziksel

değişimlerinin takip edilmesinin elzem olduğu ortaya çıkmıştır. Buna karşılık tek ya da iki hücreden oluşan mobil telefonlar ve bilgisayarların ise şişmesinin sürekli takip edilmesi olası tehlikelerin önlenmesini sağlayabilecektir.

2. Materyal ve Metot

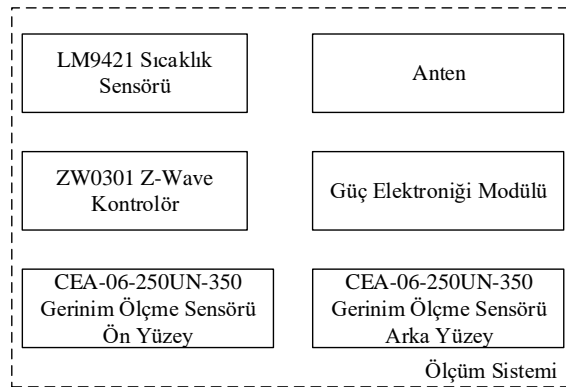
2.1. Batarya Yaşlandırma Süreci

Yaşlandırma testleri çoğunlukla farklı sıcaklıkta şarj/deşarj döngüleri ve farklı darbe gerilimleri uygulanarak yapılabilmektedir (Oh ve ark., 2014). Çalışmada da kullanılan li-ion bataryaya farklı ortam ve koşullarda yaşlandırma döngüleri uygulanarak eskimesi ve şişmesi sağlanmıştır. Bu testlerin amacı li-ion bataryaların kimyasal yapılarından ötürü farklı sıcaklıklarda farklı tepkiler verebilmesidir. Bu sebeple yaşlandırma testleri soğuk, sıcak ve normal sıcaklıklarda farklı şarj vedeşarj gerilimleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ek olarak bataryanın sağlıksızlaştırılması ve şişkinleşmesi için farklı akım yüklerinde darbe testleri uygulanmıştır. Yapılan yaşlandırma testleri laboratuvar ortamında 26 °C, 45 °C ve 0 °C’de üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Her bir sıcaklık için aşırı şarj, normal şarj ve aşırıdeşarj durumları için tekrarlanmıştır. Çalışmada şarj/deşarj esnasında sabit akım-sabit gerilim uygulanmış ve şarj akımı 1300 mA (0.5C),deşarj akımı 2600 mA (1C) değeriyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Yaşlandırılmış ve şişirilmiş bataryanın görünümü

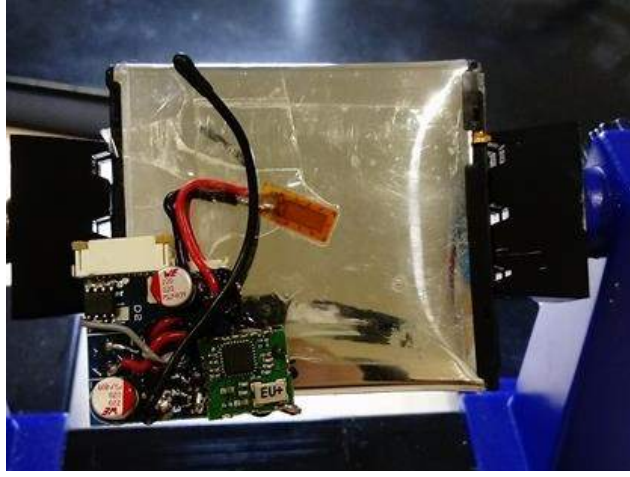
Yaşlandırmanın performansını ölçmek için iç direnç ve şişme miktarı ölçülmüştür. Başlangıç durumunda yeni bataryanın enerji kapasitesi 9.9 Wh ve toplam kalınlığı mikro-metre ile 5.34 mm olarak ölçülmüştür. Yaşlandırma testleri sonucunda toplam kalınlık 9.92 mm olarak ölçülmüştür. Ömrün azalması ise iç direncin ölçülmesi ile test edilmiştir. Bu yaklaşımın en önemli sebebi bataryaların yaşlandıkça kapasitesini kaybetmesi ve direnç değerinin artmasıdır. Başlangıç ve test sonucu yapılan ölçümlerde iç direnç değeri yaklaşık iki katına çıkmıştır. Şekil 1’de yaşlandırma testleri sonrası şişmiş ve fiziksel değişime uğramış bataryanın son hali görülmektedir.



Şekil 2. Tasarlanan modülün blok şeması

2.1. Test Düzenine Kurulması ve Ölçüm Yöntemi Geliştirilmesi

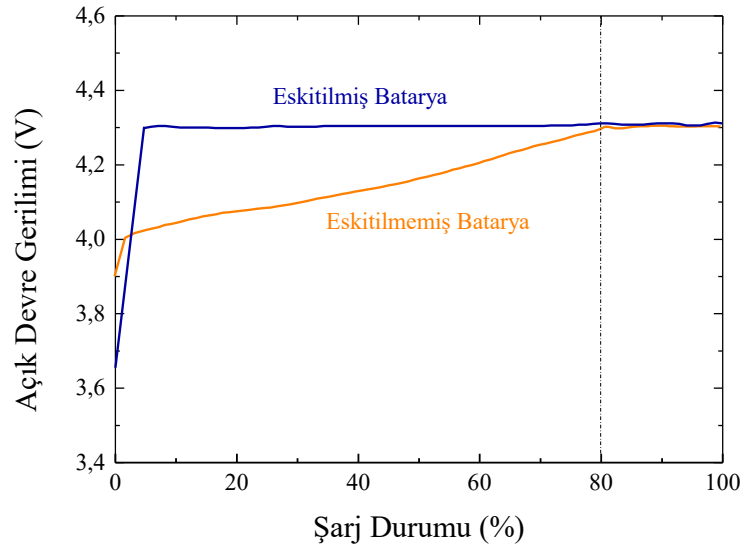
Yeni ve yaşlandırılmış bataryanın performansını izleyebilmek için Şekil 2’de tasarlanan modülün blok şeması gösterilmektedir. Bilindiği gibi batarya yönetim sistemleri çalışma esnasında bataryanın doluluk durumu, sağlık durumu ve kalan ömrünü takip edebilmektedir. Modern batarya yönetim sistemleri anlık çalışma değerlerini (gerilim, akım ve sıcaklık) ölçerek hücrelerin dengeli şarj/deşarjını sağlayarak performansı arttırmakta ve arıza tanılarını koyabilmektedir. Tasarlanan sistem ise batarya yönetim sisteminden ziyade fiziksel değişimleri takip etmekte ve kullanıcıyı olası tehlikelere karşı uyarmaktadır. Şekil 2’de gösterilen şemada görüldüğü gibi sistem LM9421 sıcaklık sensörü, iki adet CEA-06-250UN-350 gerinim sensörü, ZW0301 Z-Wave kontrolörü, anten ve güç elektroniği modülünden oluşmaktadır. Gerinim ölçüm sensörü her iki yüzeyin orta noktasına yerleştirilmiş ve Wheatstone köprü devresi ile ölçüm yapmaktadır. Güç elektroniği modülü ise mikro-USB üzerinden ölçüm sisteminin ihtiyaç duyduğu güç ihtiyacını sağlamaktadır. Haberleşme protokolü olarak ise düşük güç tüketimi sebebiyle Z-Wave protokolü kullanılmıştır. Şekil 3’de batarya üzerine yerleştirilen ölçüm ve haberleşme modüllerinin yer aldığı elektronik kart gösterilmektedir.



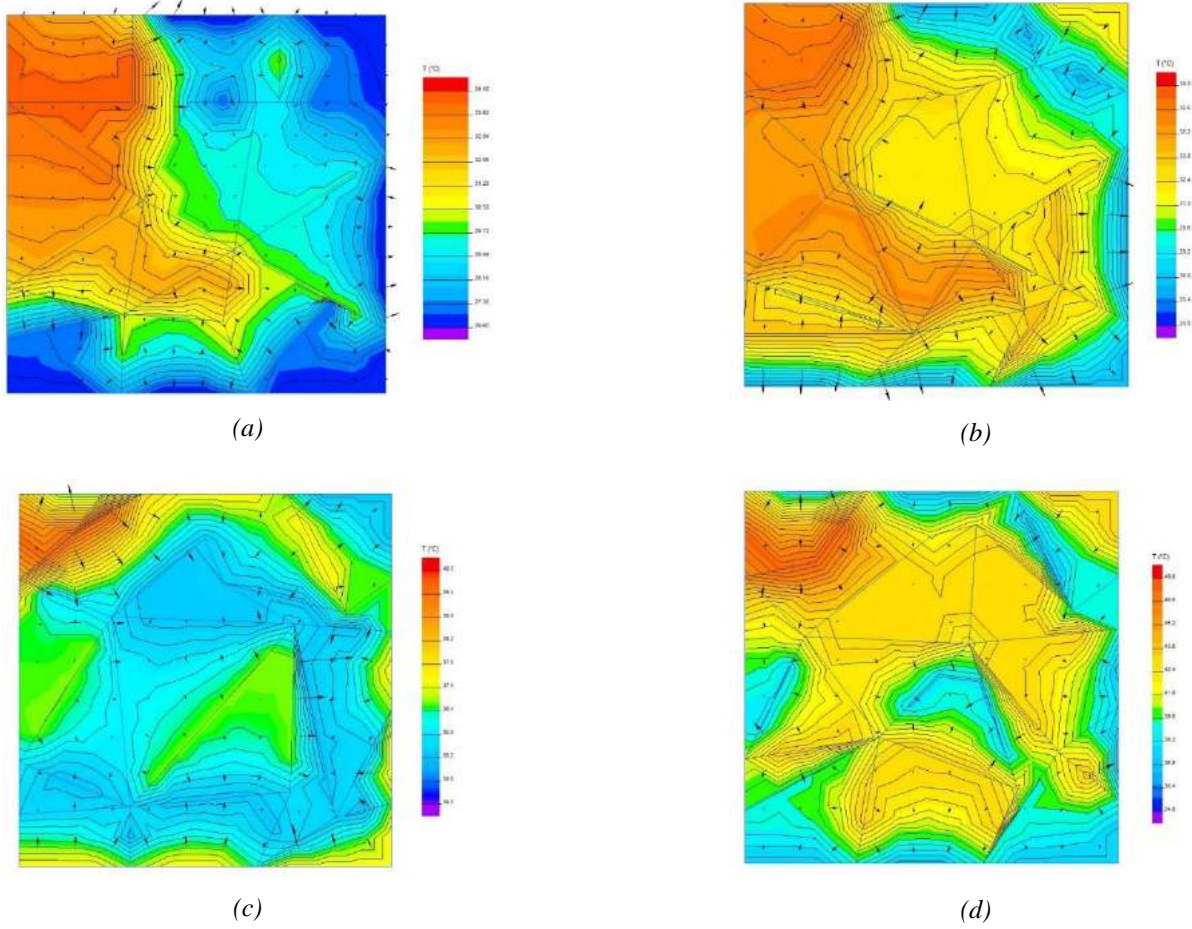
Şekil 3. Ölçüm ve haberleşme modüllerinin görünümü

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yeni ve fiziksel değişime uğramış her iki bataryanın performansını karşılaştırmak için aynı koşullar ve sıcaklık altında dört ayrı test yapılmıştır. Bu testler sırasıyla yeni bataryanın %0'dan %100'e şarjı, %100'den %0'a deşarjı ve şişmiş bataryanın %0'dan %100'e şarjı, %100'den %0'a deşarjı olarak yürütülmüştür. Testlerde başlangıç sıcaklığı 26.6 °C olarak ayarlanmıştır. Şekil 4'de eskitilmiş ve yeni bataryanın açık devre gerilimi değişimi gösterilmektedir. Şarj esnasında bataryaların açık devre gerilimi şarj oranı %0 iken eskitilmiş bataryada 3.65 V'a kadar düşerken, yeni bataryada bu değer 3.92 V olarak ölçülmüştür. Eskitilmiş bataryanın şarj değeri %5'lere ulaşmışken açık devre gerilimi hızlıca 4.3 V'a yükselmiş ve %100 şarj oranına kadar aynı değerde seyretmiştir. Yeni batarya ise beklenildiği gibi %3-%4 şarj durumunda 4 V'a hızlıca yükselmiş, daha sonrasında sabit bir oranla 4.3 V'a yükselmiştir. Yeni batarya %80 ve üzeri şarj durumunda sabit açık devre gerilimi kararlılığını sürdürmüştür. Şekil 5'de şarj/deşarj döngüsünde oluşan maksimum yüzey sıcaklıkları ve dağılımı gösterilmiştir. Şekil 5a'da görüldüğü gibi yeni bataryanın şarjı esnasında maksimum sıcaklık DC bara yakınlarında 34 °C olarak ölçülmüştür. Isı dağılımı yüzeyde çoğunlukla 27 °C ile 29 °C arasında dağılım göstermiştir. Şekil 5b'de ise yeni bataryanın deşarjı sırasındaki sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Deşarj sırasında bataryanın yüzey sıcaklığı 30 °C ile 35 °C arasında dağılım göstermiştir. Maksimum sıcaklık ise DC bara yakınlarında 37 °C olarak ölçülmüştür. Bunlara karşılık şişmiş bataryanın şarjı ve deşarjı sırasındaki sıcaklık dağılımı sırasıyla Şekil 5c ve Şekil 5d'de gösterilmektedir. Fiziksel değişime uğramış bataryanın şarj esnasındaki sıcaklık dağılımı yeni bataryanınki ile paralellik göstermekte ve sadece 1 °C-2 °C artmaktadır. Ancak şişmiş bataryanın deşarjı sırasında sıcaklık değeri belirli bölgelerde 47 °C'lere ulaşmış ve genel olarak minimum 34 °C olarak ölçülmüştür. Gerinim sensörü ölçümlerine göre ise yeni bataryanın şarj sırasında 5 µm yer değişimi gösterdiği görülmüştür. Fiziksel yıpratılmış batarya, %100 şarj durumundayken 9.92 mm kalınlığına sahipken %0 şarja eriştiğinde 9.35 mm kalınlığa sahip olmuştur. Bu durum şişme etkinliğinin en fazla aşırı şarj sırasında oluştuğunu göstermektedir. Özellikle doluluk oranı %80 ve üzerine çıktığında şişmenin hızlıca arttığı gözlenmiştir. %80'in altında ise şişmenin toplam değişiminin %20'si dolaylarında kaldığı görülmüştür.

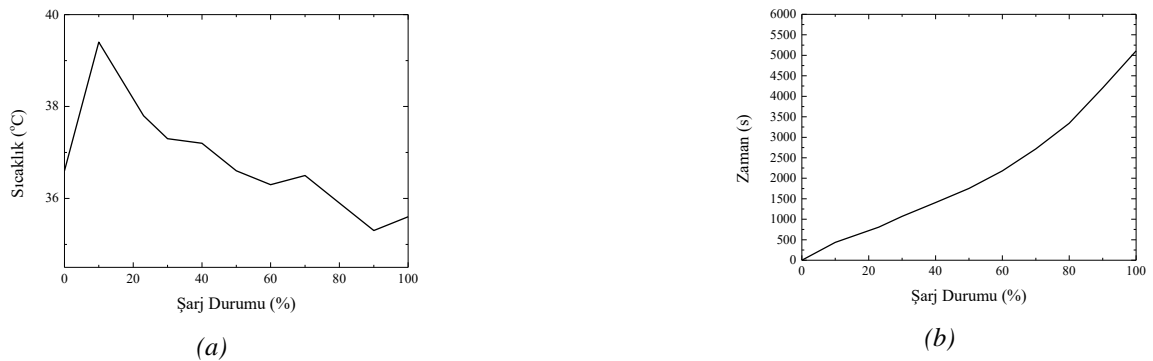


Şekil 4. Eskitilmiş ve eskitilmemiş bataryaların şarj esnasında açık devre gerilimi değişimi

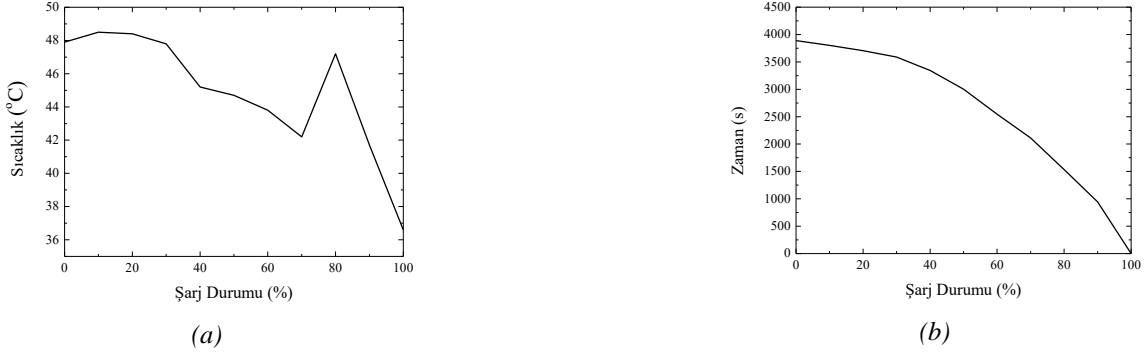


Şekil 5. Batarya yüzeyindeki sıcaklık dağılımının gösterimi (a) şişmemiş bataryanın şarj esnasında maksimum sıcaklık dağılımı, (b) şişmemiş bataryanın deşarj esnasında maksimum sıcaklık dağılımı, (c) şişmiş bataryanın şarj esnasında maksimum sıcaklık dağılımı, (d) şişmiş bataryanın deşarj esnasında maksimum sıcaklık dağılımı

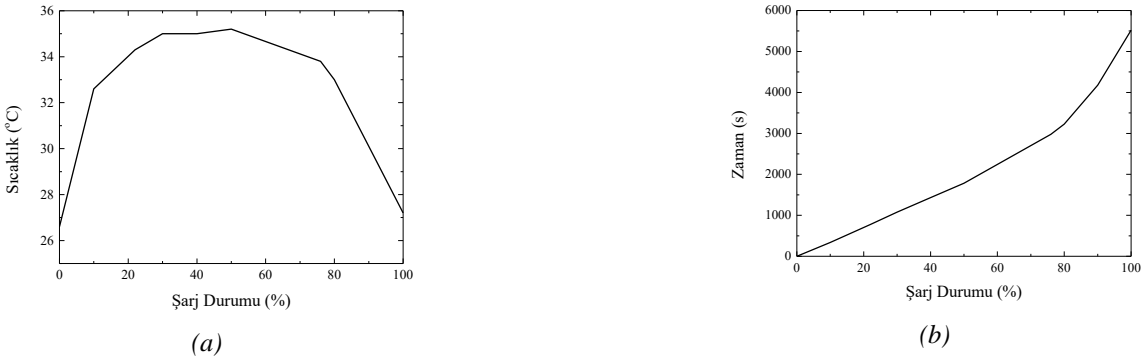
Şekil 6a ve Şekil 6b’de sırasıyla şişmiş bataryanın şarj durumu ve sıcaklık eğrisi ile şarj durumu ve zaman eğrisi verilmiştir. Şarj esnasında, noktasal sıcaklık 39.2 °C’ye %10 şarj durumunda ulaşmıştır. Başlangıçtaki sıcaklık artışı takiben sıcaklık 35 °C’lere kadar düşmüştür. Şarj zamanı ise yaklaşık 5096 s sürmüştür ancak %80 ve sonrasında hızlı bir artış göstermiştir. Şekil 7’de şişmiş bataryanın deşarj esnasındaki davranışı gösterilmektedir. Beklenildiği gibi kendiliğinden deşarjında artma gözlenmiştir. Bunun en önemli sebebi yaşlandırma testleri esnasındaki elektrolit zehirlenmesi olarak gösterilebilmektedir. Şekil 7a’da deşarj sırasında yüzeyde noktasal olarak ölçülen maksimum sıcaklık değişimi eğrisi görülmektedir. Yüzeydeki noktasal sıcaklık %80 şarj oranında ve %10 şarj oranlarında maksimum değerine ulaşmıştır. Toplam batarya boşalma süresi eğrisi ise Şekil 7b’de sunulmaktadır. Yaklaşık 3900 s’de boşalma gerçekleşmiş ancak boşalma doğrusal olmamıştır. Özellikle 535 s’nin altında hızla boşalma ve pil kapasitesinde ki dengesiz değişim gözlenmiştir. Şekil 8’de sağlıklı bataryanın şarj esnasındaki davranışı gösterilmiştir. Sıcaklık değeri maksimum 34 °C’ye ulaşmıştır. Şarj durumu ve zaman değişimi ise %80’e kadar doğrusal bir değişim göstermiş ve %80 sonrasında ise 2500 s’de tam doluluk değerine ulaşmıştır. Bu durum yeni batarya ile fiziksel değişime uğramış bataryanın şarj süreleri arasında sıcaklık değerinin değiştiği ancak zamanın benzerlik taşıdığını göstermiştir.



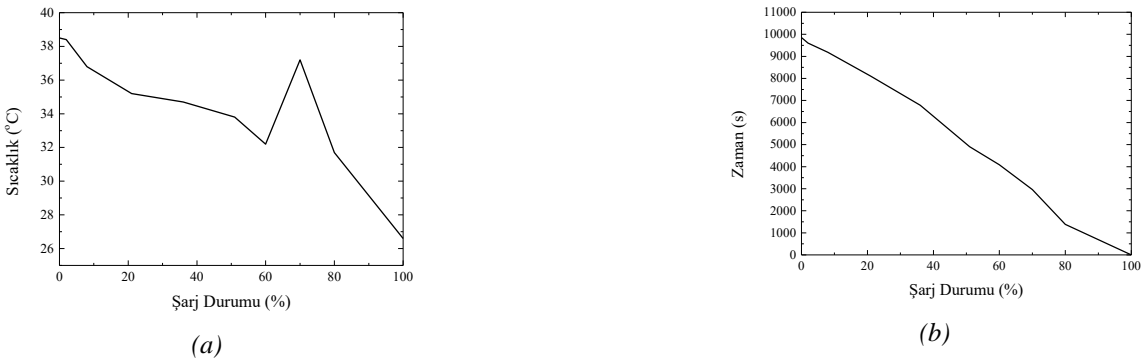
Şekil 6. Şişmiş batarya şarj esnasında davranışı (a) şarj durumu ve sıcaklık eğrisi, (b) şarj durumu ve zaman eğrisi



Şekil 7. Şişmiş bataryanın deşarj esnasında davranışı (a) şarj durumu ve sıcaklık eğrisi, (b) şarj durumu ve zaman eğrisi



Şekil 8. Şişmemiş bataryanın şarj esnasında davranışı (a) şarj durumu ve sıcaklık eğrisi, (b) şarj durumu ve zaman eğrisi



Şekil 9. Şişmemiş bataryanın deşarj esnasında davranışı (a) şarj durumu ve sıcaklık eğrisi, (b) şarj durumu ve zaman eğrisi

Şekil 9a'da sağlıklı bataryanın deşarj esnasında maksimum sıcaklığa %2 şarj oranında eriştiğini göstermektedir. Ayrıca, keskin bir yükseliş ise %80 ile %70 arasında gerçekleşmiştir. Buna karşılık bataryanın bozulması 9876 s sürmüş olup beklenildiği gibi doğrusal bir eğri ile boşalmıştır. Şişkin batarya ile sağlıklı batarya arasındaki en keskin değişim deşarjları sırasında gerçekleşmiştir. Sağlıklı bataryanın deşarjı sırasında maksimum 38 °C'ye ulaşılırken, sağlıklı bataryada bu değer 48.5 °C değerlerine ulaşmıştır. Ayrıca boşalma zamanı ise sağlıklı bataryada yaklaşık 2.5 katına çıkmıştır.

Batarya grubundaki tüm hücrelerin yüksek performans gösterebilmeleri ve daha uzun ömürlü olabilmeleri için hücrelerin optimum çalışma aralıklarında kalması gerekmektedir. Aynı zamanda üretici tarafından sağlanan çalışma sıcaklığı aralığı dışında çalışma durumu tek bir hücreyi bozduğu gibi komşu hücreler üzerinde de ek ısı ve gerinim yaratabilmektedir. Bu durumda ise bütün bir batarya sistemi tehdit altında olmaktadır. Yaklaşım olarak çoğunlukla hücrelerin paketleme yöntemiyle gerinme ve ısı dağılımını yönetmek mümkün olsa da geliştirilen sistemin tekli hücrede kullanıldığı gibi bütün hücrelere de uygulanması batarya yönetim sisteminin performansını iyileştirecektir. Li-ion piller her ne kadar taşınabilir telefonlarda tek bir hücreden oluşsada taşınabilir bilgisayarlar, elektrikli araç bataryaları ve mikro-şebeke uygulamalarında seri/paralel bağlı çoklu konfigürasyonlardan meydana gelmektedir. Literatürde yer alan bazı çalışmalar çoklu li-ion hücrelerin şişme, sıcaklık, gerilim ve akım sensörleri ile takibini önerirken bazı çalışmalar ise bu takip işleminin her bir hücrenin verilerinin sinyal kabloları yerine bluetooth haberleşme protokolü ile ana kontrolcüye iletilmesi gerektiği üzerinedir (Knobloch ve ark., n.d. & Farmer ve ark., 2014). Ancak tasarlanan sistemde enerji tüketimi dikkate alınarak bluetooth yerine Z-Wave protokolü kullanılmıştır. Seri/paralel çoklu hücre paketlenmesinde geliştirilen sistem ile kablo miktarı azaltılarak hem karmaşıklık giderilmekte hem de ağırlık azaltılmaktadır. Optimal sensör yerleşimi ile komşu hücreler arasındaki ısı ve gerinim geçişi takip edilerek bozulma sürecine girmiş hücrenin devre dışı bırakılması tüm paket düşünüldüğünde önemli bir önleyici bakım yaklaşımı sunmaktadır. Her ne kadar çok hücreli yapılarda maliyeti arttıran bir sistem gibi

görülse de savunma, havacılık vb. gibi yüksek güvenlik içeren sistemler için geliştirilen çözüm zorunlu görülmektedir. Buna karşılık bireylerin sürekli temas halinde olduğu tek hücreli bataryaya sahip taşınabilir telefonlar için ise gerçekçi ve uygun bir çözüm olarak öngörülmektedir.

4. Sonuç

Li-ion bataryalar oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen kullanıcıların ve üreticilerin batarya sağlığı alanındaki endişeleri sürmektedir. Bu endişeleri gidermek için oldukça gelişmiş batarya yönetim sistemleri kullanılırken bu sistemler temel olarak iç direnç, açık devre gerilimi, şarj/deşarj akımı ve termal ölçümleri girdi olarak kullanılmaktadır. Ancak Li-ion bataryaların elektro-kimyasal yapıları gereği sağlıksızlığını belirleyen bir diğer faktörde bataryanın fiziksel değişime uğramasıdır. Bu fiziksel değişimler yanlış kullanım, aşırı şarj/deşarj ve düşük performanslı batarya yönetim sistemlerinden kaynaklanabilmektedir. Yapılan çalışmada bu durumu ölçmek ve hangi çalışma noktalarında bataryanın tehlike arz ettiğini incelemek için bir sistem tasarlanmıştır. Yeni ve yaşlandırılmış bataryalar için aynı testler yürütülerek yüzeydeki sıcaklık değişimi, açık devre gerilim değişimi ve gerinim miktarındaki değişim gözlenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar sağlıksız batarya ile sağlıklı bataryanın şarj/deşarj esnasındaki davranış değişimlerini gösterirken bazı önemli bulgular elde edilmiş ve test sonuçları bölümünde sunulmuştur. Yapılan testlerin ortaya koyduğu en keskin farkın sağlıksız bataryanın bara etrafı sıcaklığının 48 °C-49 °C'ye ulaşmasının kullanıcı sağlığını tehdit etmesi ve gerinim miktarındaki değişimin de bu sıcaklık değişimi üzerine etkileridir. Bu sebeple kullanılan tipte bir mikro-gerinim ölçme sensörü ile şişmenin takip edilerek batarya yönetim sisteminde bir fonksiyon olarak tanımlanması gerekliliği ortaya konmuştur.

Kaynakça

- Berecibar, M. ve ark., 2016. Critical review of state of health estimation methods of li-ion batteries of real applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56: 572-587.
- Castillo, E.C., Niedermeier, F. & Jossen, A., 2016. Calculation of the state of safety (SOS) for lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, 324: 509-520.
- Chen, X. ve ark., 2012. An overview of lithium-ion batteries for electric vehicles. 10th International Power & Energy Conference, Ho Chi Minh, Vietnam: 230-235.
- Cheng, X. & Pecht, M., 2017. In situ stress measurement techniques on li-ion battery electrodes: a review. *Energies*, 591(10): 1-19.
- Farmer, J. ve ark., 2014. Wireless battery management system for safe high-capacity energy storage. *Materials Research Society Spring Meeting, San Francisco, California*: 1-5.
- Gor, G.Y. ve ark., 2015. Swelling and softening of lithium-ion battery separators in electrolyte solvents. *Journal of Power Sources*, 294: 167-172.
- Hoque, M.A. & Tarkoma, S., 2015. Sudden drop in the battery level? Understanding smartphone state of charge anomaly. *HotPower'15, Monterey, CA*: 1-15.
- Horiba, T., 2014. Lithium-ion battery system. *Proceedings of the IEEE*, 102(6): 939-950.
- Knobloch, A., Stefanopoulou, A. & Anderson, D. Control enabling solutions with ultrathin strain and temperature sensor system for reduced battery life cycle cost. http://www.arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/Day_1_6E.pdf adresinden elde edildi.
- Koch, S., Birke, K.P. & Kuhn, R., 2018. Fast thermal runaway detection for lithium-ion cells in large scale traction batteries. *Batteries*, 16(4): 1-11.
- Lee, K.H., Song, E. & Lim, H.S. Swelling mechanism of the lithium ion batteries at high temperature. <http://www.electrochem.org/dl/ma/203/pdfs/0110.pdf> adresinden elde edildi.
- Oh, K.Y. ve ark., 2014. A comparative study of commercial lithium ion battery cycle life in electrical vehicle: aging mechanism identification. *Journal of Power Sources*, 251: 38-54.
- Oh, K.Y. ve ark., 2016. Phenomenological force and swelling models for rechargeable lithium-ion battery cells. *Journal of Power Sources*, 310: 118-129.
- Wang, W., Fleischer, C. & Saver, D.U., 2014. Critical review of the methods for monitoring of lithium-ion batteries in electric and hybrid vehicles. *Journal of Power Sources*, 258: 321-339.
- Zhan, Y., Deng, J. & Wang, T., 2013. Lithium battery swollen detection based on computer vision. *IEEE 4th International Conference on Software Engineering and Service Science, Beijing, China*: 728-731.
- Zhang, J. ve ark., 2018. An overview on thermal safety issues of lithium-ion batteries for electric vehicle application. *IEEE Access*, 6: 23848-23863.
- Zhao, Y. ve ark., 2019. Localized swelling inhomogeneity detection in lithium ion cells using multi-dimensional laser scanning, 166(2): A27-A34.



Akıllı Malzemelerin Hazırlanmasında Kullanılacak Amin Türevi Monomerlerin Sentez ve Karakterizasyonu

Yeliz Ulaş^{1*}

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2038-1851)

(İlk Geliş Tarihi 28 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 31 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.558597)

ATIF/REFERENCE: Ulaş, Y. (2019). Akıllı Malzemelerin Hazırlanmasında Kullanılacak Amin Türevi Monomerlerin Sentez ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 242-246.

Öz

Bu çalışmada; polimerleşme ve metal kompleksi oluşturabilme özelliklerine sahip amin türevi üç yeni monomer sentezlenmiştir. Sentez reaksiyonu olarak, petasis reaksiyonu seçilmiştir. Uygun optimizasyon koşullarında, herhangi bir katalizör kullanılmadan ve oldukça yüksek verimlerle hedef ürünler(monomer) elde edilmiştir. Reaksiyon verimine; sıcaklık, çözücü, atmosfer koşullarının yanısıra, substitüentlerin de etkili olduğu görülmüştür. Özellikle elektron salıcı substitüent içeren yapıların elektron çekici substitüent içeren bileşiklere göre daha istemli olduğu ve veriminin de yüksek olduğu görülmüştür. Alkilaminofenol bileşik sınıfına ait olan bu monomerlerin yapısal analizleri ise ¹H-NMR ve ¹³C-NMR ile tamamlanmıştır. Sentezi yapılan monomerler, moleküler baskılanmış polimer olarak biyomoleküler tanımda kullanılabilir. Bu durum; bir çok hedef molekül için onları tanıyan uygun materyallerin elde edilmesi anlamına gelmektedir. Çalışma bu yönüyle oldukça önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Moleküler Baskılanmış Polimerler, Alkilaminofenol, Petasis Reaksiyonu, Akıllı Malzemeler, Monomer

Synthesis and Characterization of Amine Derivative Monomers to be used in Preparing Smart Materials

Abstract

In this study, amine derivative three new monomers forming polymer and metal complex synthesized. As the synthesis reaction, the petasis reaction was chosen. Under optimization conditions, target products (monomer) were obtained without any catalyst and with very high yields. Some parameters, such as temperature, solvent, atmospheric conditions, and substituents, has affected reaction yields. In particular, it observed that the structures containing the electron release substituent were more eager than the compounds containing the electron acceptor and the yield was high. Structural analyses of monomers of the alkylaminophenol class were made with ¹H-NMR and ¹³C-NMR. The synthesized monomers can use as molecular printed polymers in biomolecular recognition. That means to obtain suitable materials for synthesized of target molecules. Therefore, this aspect of the study is important.

Keywords: Molecular Imprinted Polymers, Alkylaminophenol, Petasis Reaction, smart materials, monomer

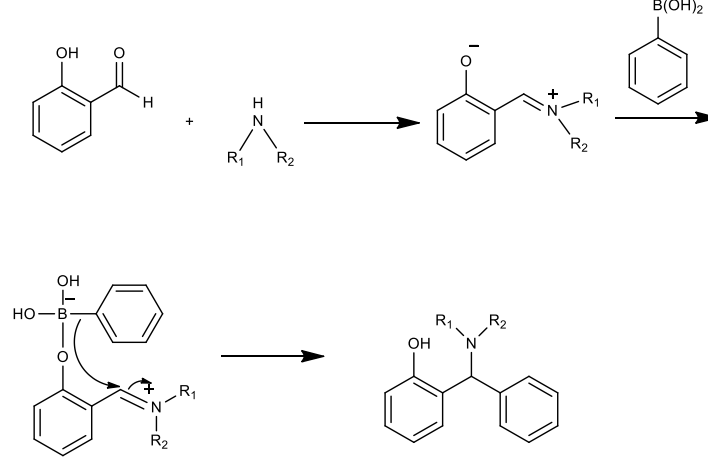
1. Giriş

Moleküler Baskılama, seçilen bir hedef molekül için yüksek seçiciliğe sahip polimerlerin hazırlandığı bir tekniktir. Polimerleşmede anahtar bileşik; monomerlerdir. Monomer seçimi ve hedef molekülün kararlılığı fonksiyonel monomerlerin önemini artırmaktadır (Yan

* Sorumlu Yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye ORCID: 0000-0003-2038-1851, yelizulas@uludag.edu.tr

ve ark., 2006). Floresans özelliğine sahip boronik asit temelli moleküler baskılanmış polimerler (Wei ve ark., 2017) uygun monomerlerle sentezlenebildiği gibi, hedef odaklı, örneğin glikoproteinleri tanıtmaya yönelik polimerlerde (Zhao ve ark., 2017) sentezlenebilmektedir.

Alkilaminofenoller; içerdiği farklı fonksiyonel gruplarla monomer olmaya aday bir bileşik sınıfıdır. Bu monomerlerin polimerizasyonu kalıp oluşturmak için kullanılabilir. Biyolojik öneme de sahip olan bu bileşikler Petasis reaksiyonu ile kolayca sentezlenebilmektedir. Petasis reaksiyonu ilk kez 1993 te Petasis tarafından rapor edilmiştir. Paraformaldehit, sekonder amin ve vinil boronik asit arasında gerçekleşen reaksiyon, yeni heterobileşiklerin elde edilmesine öncülük etmiştir (Petasis ve Akritopoulou, 1993).



Şekil 1. Salisilaldehit, boronik asit ve sekonder bir amin arasında gerçekleşen Petasis reaksiyonu

Reaksiyon genel anlamda bir iminyum iyonu oluşumu, ardından borik asit ilavesiyle oluşan boronatin molekülüçi nükleofilik katılımı ile olur (Koolmeister ve ark., 2002; Kozioz ve ark., 2010; Candeias ve ark., 2010).

Reaksiyonda kullanılan aldehit, asit ve amin oldukça önemlidir (Lou ve ark., 2008; Shi ve ark., 2013). Reaksiyon verimi; sıcaklık, çözücü, atmosfer, zaman gibi parametrelerden etkilenmektedir (Schlienger ve ark. 2000; Han ve ark., 2013). Bu nedenle çalışmaya başlamadan, reaksiyon koşullarının optimizasyonunun yapılması gerekmektedir (Kaboudin ve ark. 2018). Genelde reaksiyonlar, bir katalizör eşliğinde gerçekleşmektedir (Wang ve ark.2000). Literatürde bir katalizör olmadan gerçekleşen petasis reaksiyonlarının sayısı oldukça sınırlıdır (Ying ve ark., 2010; Mandai ve ark., 2012; Wang ve ark., 2015).

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, tüm kimyasal reaktif ve çözücüler Merck, Sigma-Aldrich markalı firma distribütörlerinden satın alınmıştır. Erime noktaları Buchi B-540 digital melting point marka erime noktası cihazıyla belirlenmiştir. ¹H-NMR ve ¹³C-NMR spektrumları Agilent marka 600 MHz'lik NMR cihazıyla alınmıştır.

2.1 Alkilaminofenollerin Sentezlenmesi

Salisilaldehit **1** (1 mmol, 0.1221gr), 4-vinil anilin **2** (1 mmol, 0.1192 gr) ve fenilboronik asitlerin **3a**, **3b**, **3c** (1 mmol) asetonitril içindeki çözeltileri (5 mL), azot atmosferinde 24 saat boyunca ısıtılmıştır. Reaksiyon sonunda çözücü uçurulup, kolon kromatografisi ile saflaştırma işlemi yapılmıştır (Hekzan/Etilasetat, 9/1). Ürünler, yüksek verimlerle elde edilmiştir.

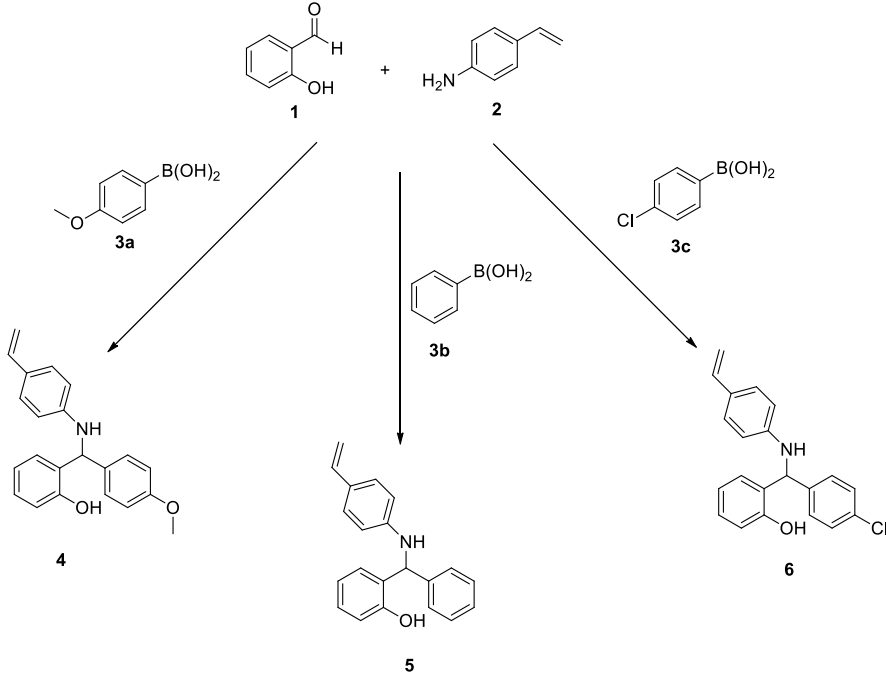
2-((4-methoxyphenyl)((4-vinylphenyl)amino)methyl)phenol (4): Verim 0.305 g (92%), yağimsı ¹H NMR (600 MHz, CDCl₃): δ(ppm) = 3.80(s, 3H); 5.29(s, 1H); 5.55(s, 1H); 5.61(s,1H); 5.77(s,1H); 6.18(s, 1H); 6.85-6.93(m, 4H); 7.03-7.07(m, 4H); 7.23-7.30(m,4H), 13.29(s,1H). ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz): δ, ppm: 49.4; 55.23; 113.3; 113.9; 114.0; 114.4; 116.0; 116.1; 120.6; 121.4; 122.9; 127.3; 127.8; 128.6; 128.8; 130.2; 130.3; 134.7; 136.3; 153.4; 158.3; 162.1.

2-(phenyl((4-vinylphenyl)amino)methyl)phenol (5): Verim 0.259 g (86%), Sarı kristal, E.N. 69-70 °C. ¹H NMR (600 MHz, CDCl₃): δ(ppm) = 5.24(s, 1H); 5.35(s, 1H); 5.74(s,1H); 5.77(s,1H); 5.80(s, 1H); 7.51-7.54(m, 5H); 7.60-7.63(m, 4H); 8.25-8.27(m,4H), 13.29(s,1H). ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz): δ, ppm: 62.9; 114.1; 115.4; 117.3; 119.1;119.9; 121.4;124.5; 126.7; 127.2; 127.3; 127.4; 128.0; 130.1; 131.9; 132.3; 132.7; 133.2;134.5; 135.6; 162.1.

2-((4-chlorophenyl)((4-vinylphenyl)amino)methyl)phenol (6): Verim 0.271 g (81%), yağimsı. ¹H NMR (600 MHz, CDCl₃): δ(ppm) = 5.74(s, 1H); 5.99(s, 1H); 6.21(s,1H); 6.77(t, J=7.2, 2H); 6.83-6.91(m, 4H); 7.02(d, J=8.4, 2H); 7.15(t, J=7.2,2H);7.19-7.21(m, 2H); 7.27(d, J=8.4; 2H); 13.51(s,1H). ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz): δ, ppm: 49.1; 115.8; 117.3; 120.1; 120.9; 123.4; 126.7; 128.0; 128.1; 128.2; 128.6; 128.7; 128.8; 128.9; 129.5; 130.3; 130.6; 132.5; 135.9; 141.0; 153.0.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmaya optimizasyon koşullarının belirlenmesi ile başlanmıştır. Bunun için öncelikle; aldehit, amin ve boronik asitler seçilmiştir.



Şekil 2. Aldehit 1, amin 2 ve boronik asitler 3a,b,c arasındaki petasis reaksiyonu

Salisilaldehit, petasis reaksiyonunda olumlu sonuç veren önemli bir aldehittir bu nedenle tercih edilmiştir. Polimerleşme özelliği olan bir monomer elde etmek için primer bir amin olan 4-vinil anilin seçilmiştir. Reaksiyondaki substitüent etkisini incelemek için –para konumunda aromatik halkaya bağlı, elektron salıcı ve elektron çekici özelliği olan fenilboronik asitler alınmıştır. Daha sonra reaksiyonun gerçekleşeceği çözücü ortamı belirlenmiştir. Bunun için sentezler, bir seri çözücüde gerçekleştirilerek, uygun çözücü bulunmuştur.

Tablo 1. Model reaksiyon ürünü olarak seçilen 2-(phenyl((4-vinylphenyl)amino)methyl)phenol (5)'ün farklı çözücü içindeki oluşum yüzdeleri

Çözücü	Yüzde Verim (%)
CH ₂ Cl ₂	72
MeCN	86
Toluen	66
1,4 Dioksan	68
Etanol	80
THF	76

Tablo-1'e bakıldığında asetonitril içerisinde reaksiyonun veriminin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle reaksiyon ortamı olarak asetonitril seçilmiştir. Azot atmosferinde 24 saat ısıtılarak elde edilen ürünlerin, yapısal analizleri kolon kromatografisi ile saflaştırıldıktan sonra tamamlanmıştır.

Bileşik	O-H	N-H	C-H _(kiral)	Vinilik H'ler
---------	-----	-----	------------------------	---------------

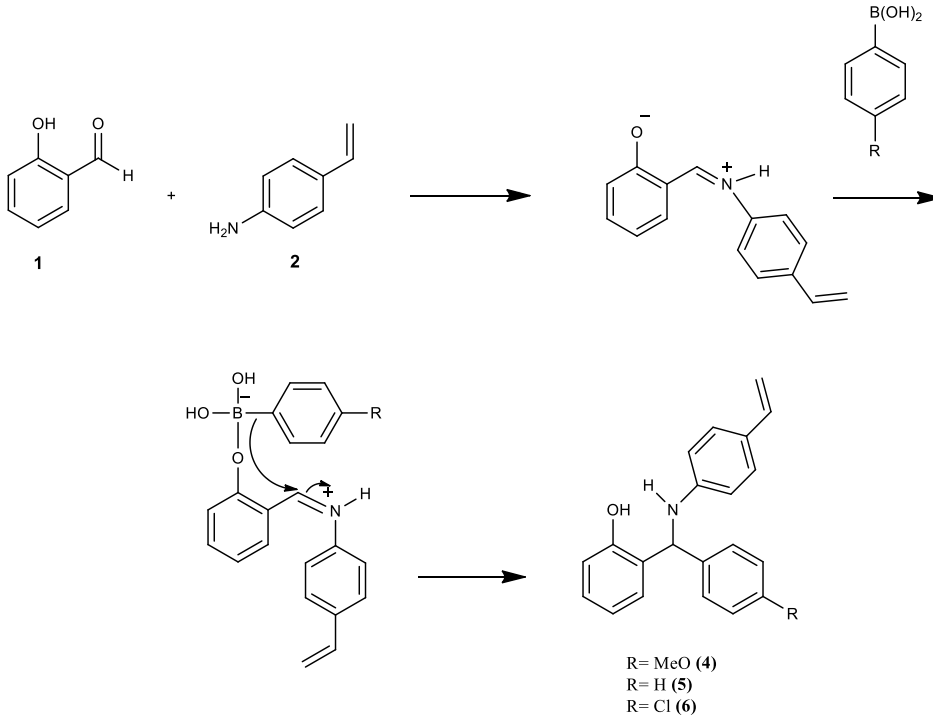
4	13.29	5.55	5.61	6.18; 5.29; 5.77
5	13.29	5.24	5.35	5.80; 5.74; 5.77
6	13.51	5.74	5.99	6.21; 7.19; 7.21

Şekil 3. Sentezlenen 4, 5 ve 6 bileşiğine ait $^1\text{H-NMR}$ spektrumlarındaki kimyasal kayma değerleri $\delta(\text{ppm})$

Bileşik	C-OH	C-NH	C-H(kiral)	Vinilik C'lar
4	162.1	158.3	55.2	113.9; 136.3
5	162.1	135.6	62.9	115.4; 133.2
6	153.0	141.0	49.1	117.4; 132.5

Şekil 4. Sentezlenen 4, 5 ve 6 bileşiğine ait $^{13}\text{C-NMR}$ spektrumlarındaki kimyasal kayma değerleri $\delta(\text{ppm})$

Bileşiklere ait karakteristik kimyasal kayma değerleri ürünlerin, hedeflendiği gibi sentezlenebildiğini göstermiştir.



Şekil 5. Petasis reaksiyonuna ait reaksiyon mekanizması

Petasis reaksiyonuna ait mekanizma incelendiğinde; elektron salıcı substitüentin molekül içi nükleofilik katılımını kolaylaştırdığı görülmektedir. Reaksiyon verimlerine bakıldığında da 4 bileşiğinin %92 verimle elde edilirken 6 bileşiğinin %81 verimle elde edildiği görülmüştür. Bu durum, substitüentlerin reaksiyon üzerinde etkili olduğunu açıklamaktadır.

4. Sonuç

İlk kez polimerleşme özelliğine sahip, alkilaminofenol türü bileşikler sentezlenmiştir. Moleküler Baskılanmış Polimerlerin yapımında kullanılacak bu monomerler, herhangi bir katalizöre ihtiyaç duyulmadan yüksek verimlerle elde edilmiştir. Bunun için uygun çözücü, süre, atmosfer vb. optimizasyon koşulları belirlenmiştir. Ayrıca; elektron salıcı substitüent içeren monomerlerin, elektron çekici substitüent içeren monomere göre reaksiyona girmeye daha istemli olduğu da deneysel işlemlerle bir kez daha ortaya konmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından ÖAP(F)-2018/2 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Candeias N. R., Montalbano F., Cal P. M. S. D., Gois P. M. P.(2010). Boronic Acids and Esters in the Petasis-Borono Mannich Multicomponent Reaction. *Chemical Review*, 110, 6169–6193.
- Han W. Y., Zuo J., Zhang X. M., Yuan W. C. (2013). Enantioselective Petasis reaction among salicylaldehydes, amines, and organoboronic acids catalyzed by BINOL. *Tetrahedron*, 69, 537-541.
- Kaboudin B., Zangoeei A., Kazemi F., Yokomatsu T.(2018). Catalyst-free Petasis-type reaction: Three-component decarboxylative coupling of boronic acids with proline and salicylaldehyde for the synthesis of alkylaminophenols. *Tetrahedron Letters*, 59, 1046-1049.
- Koolmeister T., Sodergren M., Scobie M. (2002). Pinacolyl boronic esters as components in the Petasis reaction. *Tetrahedron Letters*, 43, 5965–596.
- Kozioz A., Grzeszczyk B., Koziozn A., Staszewska-Krajewska O., Furman B., Chmielewski M. (2010). Ferrier-Petasis Rearrangement of 4-(Vinyloxy)azetid-2-ones: An Entry to Carbapenams and Carbacephams. *Journal of Organic Chemistry*, 75, 6990–6993.
- Lou S., Schaus S. E. (2008). Asymmetric Petasis Reactions Catalyzed by Chiral Biphenols. *Journal of American Chemical Society*, 130, 6922–6923.
- Mandai H., Murota K., Suga S. (2012). Studies On The Petasis Reaction Of 2-Pyridin-5-carbaldehyde Derivatives And Its Products. *Heterocycles*, 85(7), 1655 – 1669.
- Petasis N. A., Akritopoulou I. (1993). The boronic acid mannich reaction: A new method for the synthesis of geometrically pure allylamines. *Tetrahedron Letters*, 34, 583-586.
- Schlienger N., Bryce M. R., Hansen T. K. (2000). Heterocyclic aldehydes as novel components in the boronic Mannich reaction. *Tetrahedron Letters*, 41, 1303–1305.
- Shi X., Kiesman W. F., Levina A., Xin Z. (2013). Catalytic Asymmetric Petasis Reactions of Vinylboronates. *Journal of Organic Chemistry*, 78, 9415–942.
- Tao Z., Junping W., Jianli H., Qiliang D., Shuo W. (2017). One-step post-imprint modification achieve dual-function of glycoprotein fluorescent sensor by "Click Chemistry". *Biosensors and Bioelectronics*, 91, 756–761.
- Wang O., Finn M. G. (2000). 2H-Chromenes from Salicylaldehydes by a Catalytic Petasis Reaction. *Organic Letters*, 2(25), 4063–4065.
- Wang J., Shen Q., Zhang j., Song G. (2015). Metal-free multicomponent coupling reaction of aliphatic amines, formaldehyde, organoboronic acids, and propiolic acids for the synthesis of diverse propargylamines. *Tetrahedron Letters*, 56, 903–906.
- Wei J., Ni Y., Zhang W., Zhang Z., Zhang J. (2017). Detection of glycoprotein through fluorescent boronic acid-based molecularly imprinted polymer. *Analytica Chimica Acta*, 960 110-116
- Yan H., Row H. K. (2006). Characteristic and Synthetic Approach of Molecularly Imprinted Polymer. *Journal of Molecular Sciences*, 7, 155-178.
- Ying L., Limin W., Yuanyuan S., Jianjun Y. (2010). Solvent-free Synthesis of Alkylaminophenols via Petasis Boronic Mannich Reaction in One Pot without Catalysts. *Chinese Journal of Chemistry*, 28, 2039-2044.



PVDF Electrospun Nanofiber Membranes for Microfiltration: The Effect of Pore Size and Thickness on Membrane Performance

Cigdem Akduman^{1*}

¹ Pamukkale University, Denizli Vocational School of Technical Sciences, Department of Textile Technology, Denizli, Turkey (ORCID: 0000-0002-6379-6697)

(First received 22 April 2019 and in final form 22 May 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.556748)

ATIF/REFERENCE: Akduman, C. (2019). PVDF Electrospun Nanofiber Membranes for Microfiltration: The Effect of Pore Size and Thickness on Membrane Performance. *European Journal of Science and Technology*, (16), 247-255.

Abstract

Microfiltration membranes are needed in wastewater treatment, water purification and concentration processes. To separate microorganisms and suspended particles from process liquid, a contaminated fluid, especially water, is passed through a porous membrane. Electrospun nanofiber membranes could be used for this aim with their nanoscale fibers, small pore size, low weight and high permeability. The main purpose of this study is to show the relationship between the average fiber diameter and thickness of the PVDF nanofiber membrane and the pore size and liquid filtration efficiency. PVDF is a widely used polymer in water treatment processes. It is highly non-reactive thermoplastic fluoropolymer with outstanding physical and chemical properties. In this study, PVDF nanofibers were produced from 12, 14 and 16% (w/v) polymer solutions by electrospinning method to achieve three different mean diameters. 15 min, 30 min, 60 min, 3h and 5h of production periods were used for producing various thicknesses. According to pore size measurements, the differences in mean flow pore size (MFP) of 16PVDF and 14PVDF nanofiber membranes were not distinct. However, due to thin nanofiber diameter (278.58 nm) and high amount of nanofibers, biggest pore size (FBP) of 12PVDF-5h was the smallest. There was also significant difference between 12PVDF-5h and 12PVDF-3h, and FBP of these two membranes were smaller than other three 12PVDF nanofiber membranes. Liquid filtration property of produced electrospun PVDF nanofibers were evaluated by turbidity rejection of a kaolin solution. In correlation with the pore size results it was seen that best turbidity rejection percent was belonging to 12PVDF-5h and worst was belonging to 16PVDF-15min nanofiber membranes. Nevertheless, all of the produced electrospun PVDF nanofiber membranes can be effectively used to remove contaminants from wastewater at a relatively low cost.

Keywords: Nanofibers, Liquid Filtration, Pore Size, Turbidity.

Mikrofiltrasyon için elektrolif çekim yöntemi ile üretilmiş PVDF nanolifli membranlar: Gözenek boyutu ve kalınlığının membran performansına etkisi

Öz

Atık su arıtma, su saflaştırma ve konsantrasyon artırma işlemlerinde mikrofiltrasyon membranlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Mikroorganizmaları ve askıda bulunan parçacıkları işlem sıvısından ayırmak için, kontamine sıvı, özellikle su, gözenekli bir membrandan geçirilir. Bu amaçla, elektrolif çekim yöntemi ile üretilmiş nanolifli membranların nano boyuttaki lifleri, küçük gözenek boyutları, düşük ağırlık ve yüksek geçirgenlik ile kullanılabilirler. Bu çalışmanın esas amacı ortalama lif çapı, PVDF nanolifli membranların kalınlıkları ve gözenek boyutlarının sıvı filtrasyon verimleri arasındaki ilişkiyi göstermektir. PVDF atık su arıtma proseslerinde yaygın olarak kullanılan bir polimerdir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri ile dikkat çeken reaktif olmayan termoplastik floropolimerdir. Bu çalışmada, üç farklı lif çapı elde etmek için %12, 14 ve 6 (w/v) PVDF çözelti konsantrasyonu ile nanolifler elektrolif

* Corresponding Author: Pamukkale University, Denizli Vocational School of Technical Sciences, Department of Textile Technology, Denizli, Turkey
ORCID: 0000-0002-6379-6697, cakduman@pau.edu.tr

çekim yöntemi ile üretilmiştir. Çeşitli kalınlıkların elde edilmesi amacı ile 15 dakika, 30 dakika, 60 dakika, 3 saat ve 5 saat üretim süreleri kullanılmıştır. Gözeneklilik ölçüm sonuçlarına göre, 14PVDF ve 16PVDF nanolifli membranlarının ortalama gözenek boyutları arasındaki büyük bir fark yoktur. Ancak, ince nanolif çapı (278.58 nm) ve fazla miktardaki nanolif nedeni ile, 12PVDF-5h nanolifli membranların en büyük gözenek boyutu (FBP) diğerlerine göre daha düşük olmuştur. Ayrıca 12PVDF-5h ve 12PVDF-3h arasında anlamlı bir farklılık gözlenmiştir ve bu iki membrana ait FBP diğer üç PVDF nanolifli membrandan daha küçük olmuştur. Üretilen PVDF nanoliflerin sıvı filtrasyon özellikleri, hazırlanan kaolin çözeltisinin bulanıklığının giderilmesi ile değerlendirilmiştir. Gözenek boyutları da göz önünde bulundurulduğunda, en iyi bulanıklık giderilme %'sinin 12PVDF-5h'e, en kötü bulanıklık giderilmesinin ise 16PVDF-15min nanolifli membranlara ait olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, üretilen PVDF nanolifli membranların tümü, nispeten daha düşük bir maliyetle atık sudan kirleticilerin giderilmesi amacı ile etkili bir şekilde kullanılabilecek filtrasyon performansına sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Nanolifler, Sıvı Filtrasyonu, Gözenek Boyutu, Bulanıklık.

1. Introduction

Microfiltration (MF) membranes are used to filter particulates from liquids (Baker, 2004). Most importantly, these membranes are much needed in wastewater treatment, water purification and concentration processes and are highly utilized (Renuga Gopal, Satinderpal Kaur, Zuwei Ma, Casey Chan, Seeram Ramakrishna, 2006). In MF, to separate microorganisms and suspended particles from process liquid, a contaminated fluid, especially water, is passed through a porous membrane. The most important property characterizing a porous membrane for MF applications is the pore diameter or pore size (Baker, 2004). Size of the particle that is capable of penetrating the medium relates to the pore size which mainly effects the efficiency of the filtration medium (Hutten & Wadsworth, 2007) and fine fibers of low diameters give small pore size, high density and high filtration efficiency to filter media. Electrospun nanofiber membranes could be the good candidates for MF with their nanoscale fibers, small pore size, low weight and high permeability (Eichhorn & Sampson, 2005). These membranes also offer unique properties like high specific surface area, and good interconnectivity of pores (Letizia & Chiara, 2018).

In electrospinning, pores are created mainly by the entanglement of nanofibers and they are highly interconnected. Therefore, a nanofiber membrane or a composite structure containing a nanofiber layer could find use in MF applications (Hutten & Wadsworth, 2007). Moreover, these membranes can overcome the low-flux limitation of conventional porous membranes, due to their high porosity and high surface area-to-volume ratio. Since water molecules can move with low hydraulic resistance through the membrane, the high porosity is beneficial for improving the permeation flux (Letizia & Chiara, 2018). The diameter of the electrospun nanofibers could be modulated by electrospinning conditions such as polymer concentration, tip-to collector distance, applied voltage along with the surface-to-volume ratio (Letizia & Chiara, 2018).

Gopal et al. electrospun polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofibers into membranes and characterized their structural properties to relate membrane performance and their separation properties. 1, 5 and 10 μm polystyrene particles were used for separation process. They found PVDF membranes were successful in rejecting approximately 90% of the micro-particles from solution (Renuga Gopal, Satinderpal Kaur, Zuwei Ma, Casey Chan, Seeram Ramakrishna, 2006). Bae et al. fabricated polyethersulfone (PES) nanofiber membranes for water purification. They improved the mechanical properties and surface roughness of the membranes by the solvent-induced fusion and were able to get clean water with regeneration ability (Bae, Baek, & Choi, 2017a). At their another work, they developed piezoelectric PVDF nanofiber membrane with antifouling ability through the vibrational inducement for water treatment applications (Bae, Baek, & Choi, 2017b). Jang et al. prepared PVDF/graphene oxide (GO) hybrid nanofiber membrane for water treatment application. They were able to control the pore-diameters by ~ 0.2 micron with narrow distribution and produced PVDF/GO nanofiber composite membranes. These membranes showed hydrophilic character and achieved high pure water flux results (Jang, Yun, Jeon, & Byun, 2015).

Apart from these studies, the main purpose of this study is to show the relationship between the average fiber diameter and thickness of the PVDF nanofiber membrane and the pore size and liquid filtration efficiency. PVDF is a very hydrophobic polymer with high thermal and chemical resistance, and good mechanical properties (Li & Liu, 2014; Yeow, Liu, & Li, 2004). It is highly non-reactive thermoplastic fluoropolymer (Jang et al., 2015). PVDF is also widely used polymer in ultrafiltration, microfiltration, membrane distillation and some other membrane processes (Cheng et al., 2017; Cui, Drioli, & Moo, 2014; F. Liu, Hashim, Liu, Abed, & Li, 2011) such as affinity membranes. Some other examples of the applications of PVDF nanofibers are nanopressure sensors (Garain, Jana, Sinha, & Mandal, 2016; Mandal, Yoon, & Kim, 2011), polymer electrolytes or separators (Choi et al., 2004), proton exchange membranes in fuel cells (Li & Liu, 2014), and thin film composite membranes for forward osmosis (Huang, Arena, & McCutcheon, 2016). In this study, 12, 14 and 16% (w/v) PVDF nanofibers were produced by laboratory scale electrospinning method to achieve three different mean diameters and the pore size. Liquid filtration property of produced electrospun PVDF nanofibers were evaluated by turbidity rejection of a kaolin solution (Isoyama et al., 2017). Turbidity is a measure of the degree to which the water loses its transparency due to the presence of suspended particulates (Lenntech Water treatment & purification, 2019). Kaolin has been commonly utilized as a turbidity standard solution for a long time. Since kaolin is a clay mineral, it is free of anything harmful, is a low-cost material, and is easy to handle (Isoyama et al., 2017). Pore size comparison was also conducted which were directly related to filtration performance (Jang et al., 2015). Pore size measurements of PVDF nanofiber membranes were measured as maximum pore size (often

referred to as first bubble point (FPS), mean flow pore size (MFP) and smallest pore size (SPS). 15 min, 30 min, 60 min, 3h and 5h of production periods were used for producing various thicknesses in order to evaluate the change in pore size.

2. Material and Method

2.1. Materials

PVDF (Kynar 761A) was provided from Abalioğlu Teknoloji as a gift. Kaolin, Acetone, dimethylacetamide (DMAc) and tetraethyl ammonium bromide (TEAB) were purchased from Sigma Aldrich Company. Properties of PVDF powder is given in Table 1.

Table 1. Properties of PVDF (Kynar 761A) (Kynar & Pvd, 2014)

KYNAR® PVDF Grade	Fabrication	Melt Viscosity Method (ASTM D3835)	Melt Flow Rate (ASTM D1238)	Melting Point
Kynar 761A (Powder)	Binders, Additives, etc	. 30.5 - 36.5	0.5 - 3.5	165 - 172°C

2.2. The preparation of electrospinning solutions

Homogeneous PVDF solutions were prepared by dissolving 12, 14 and 16% (w/v) of PVDF powder in acetone/ Dimethylacetamide (DMAc) (1:4 v/v) and 0,015 g tetraethylammonium bromide (TEAB) was added to each 30 ml PVDF solution and stirred for 3h. Electrospun PVDF solutions were coded with 12PVDF, 14PVDF and 16PVDF along with their collection periods (15min, 30min, 60min, 3h and 5h).

2.3. Electrospinning

Electrospinning of the polymer solutions was carried out by a set-up consisting of a syringe (10 mL) with a stainless steel needle (22 gauges, and flat tip), a ground electrode and a high voltage supply (Simco, MP Series CM5 30 P, Charging Generator Output 30 kV DC). 12PVDF, 14PVDF and 16PVDF solutions were electrospun at a voltage of 15 kV, a tip-to-collector distance of 15 cm with a feeding rate of 0.5 ml/h. A grounded rotating metal drum collector covered by a 20 g/m² spunbond polypropylene nonwoven fabric was used as deposition material. Each polymer solution was electrospun for 15min, 30min, 60min, 3h and 5h. All electrospinning experiments were performed at room temperature (22±2 °C), where the relative humidity was 22-40%.

2.4. SEM analysis

The morphology of the PVDF nanofibers was analyzed by a scanning electron microscope (SEM; Phenom G2 pro scanning electron microscope). The electrospun PVDF nanofibers were sputtered by Quorum Q150R S ion sputtering device with a thin layer of gold prior to SEM observation.

2.5. Measurement of thickness, weight per square meter and fiber diameters

The thicknesses of the PVDF nanofiber mats were measured by Mitutoyo digital micrometer at 0,01 mm accuracy. Weights of nanofiber mats were calculated from the weights of small rectangular pieces. 8 and 3 measurements were carried out from the different parts of each sample for thickness and weights, respectively. The mean diameter of the resultant fibers was calculated from measurements on SEM images of 10000× magnification by using Image J program. Approximately 50 measurements were carried out from the different parts of each sample. All thickness, weights and fiber diameter measurements were expressed as mean ± SD.

2.6. Pore size measurements

The pore size and pore size distribution of the PVDF nanofiber membranes were measured by capillary flow porometry (Porolux 1000- Germany). All samples were wetted by Galpore 16 (a wetting liquid with a low surface tension of 16 dyne/cm) and tested. The mean pore size of the membranes was calculated from wet, dry and half dry conditions. MFP, FBP, SPS and pore size distribution (PSD) were measured by wet-up/dry-up method and the analysis was done by using Automated Capillary Flow Porometer system software according to the ASTM F316-03 (2011) (ASTM International, 2014). Pore size measurements were expressed as mean ± SD.

2.7. Evaluation of the liquid filtration performance

Filtration performance was evaluated by turbidity test. It was performed to observe the rejection of particulates and changes in the turbidity. Sizes of kaolin particles were measured by Malvern Hydro 2000S Master Sizer v3.50, Malvern Instruments Ltd. Turbidity rejection of the PVDF nanofiber membranes were tested using a dead-end filtration cell, Amicon® stirred cell (UFSC05001) (Fig. 1) (Bae, Baek, & Choi, 2016). The cell has a volume of 50mL and an effective membrane filtration area of 44.5 mm². The sample in the filtration cell was stirred with 200 rpm by using a magnetic stirrer, in order to avoid the settlement. A Delta OHM Turbidity meter (Italy) was used to measure the contaminant concentration of the feed solution and the permeation. A suspension of kaolin particles with a diameter of 3.79 µm was diluted in water to prepare a solution of 100 nephelometric turbidity units (ntu) turbidity to serve as the feed solution. The test was carried out at 1 bar pressure. For each nanofiber membrane 50 mL kaolin solution (100 ntu) was used. The turbidity rejection rate was calculated according to Eq. (1)(Bae et al., 2016; Y. Liu, Wang, Ma, Hsiao, & Chu, 2013):

$$\text{Rejection rate (\%)} = \left(1 - \frac{C_f}{C_i}\right) \times 100 \quad (1)$$

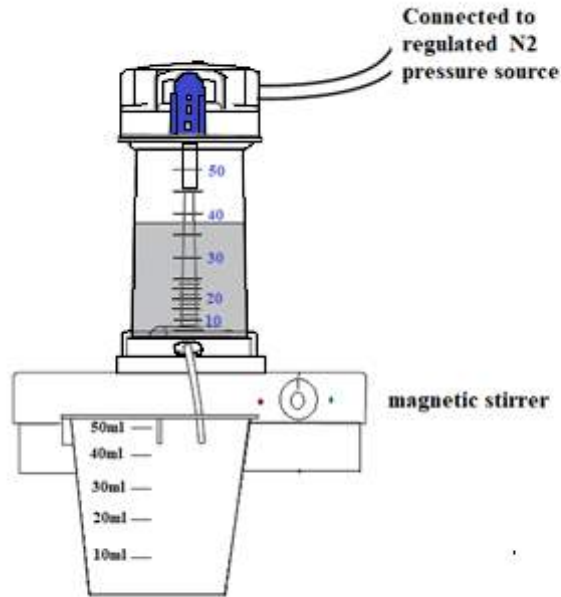


Figure. 1 Schematic diagram of a dead-end-cell device (Amicon® Stirred Cell, Merck (EMD Millipore Corporation, 2015).

3. Results and Discussion

3.1. Morphology of produced PVDF nanofiber membranes

The surface morphology of the PVDF nanofiber membranes were investigated by SEM analysis. SEM images of 12PVDF, 14PVDF, 16PVDF nanofibers were given in Fig. 2 (a), (b) and (c), respectively. Bead free, uniform PVDF nanofibers were produced. Mean nanofiber diameters were given in Table 2. and were about 278.58, 458.77 and 870.358 nm for 12PVDF, 14PVDF, 16PVDF, respectively. Differences in the mean fiber diameters were analyzed by one-way ANOVA followed by Tukey HSD test for pairwise comparison. It was observed that, there was a statistically significant difference between each polymer concentration ($p < 0.05$). Because of the decreasing polymer concentration mean fiber diameter decreased significantly.

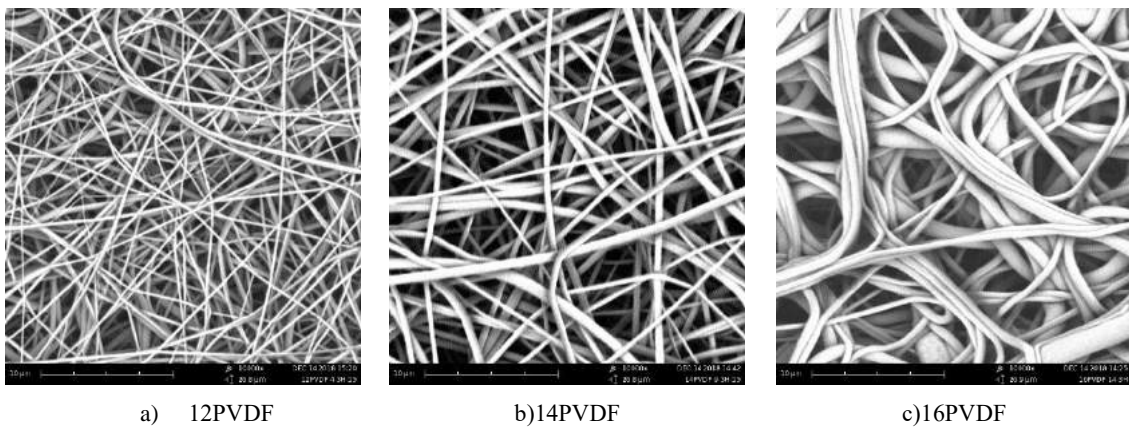


Figure 2. SEM images of (a) 12 PVDF, (b) 14 PVDF and (c) 16 PVDF nanofibers

Table 2. lists the mean thickness and mean weight of 12PVDF, 14PVDF, 16PVDF nanofibers based on collection period. Collection period had an effect on thicknesses and weights of nanofiber membranes. Because of the higher polymer concentration, 16PVDF

nanofiber membranes were thicker and heavier than 14PVDF, and 14PVDF nanofiber membranes were thicker than 12PVDF nanofiber membranes. Weight of lighter nanofiber membranes of 15 min collected PVDF nanofibers were ranged 2.86 to 2.13 g/m². Significant differences occurred after 3h, and long collection periods significantly increased the weights of the membranes. The weights of the 5h collected membranes were ranged 35.60 to 51.62 g/m².

Table 2. Thickness, Weight and Fiber Diameter of the electrospun 12PVDF, 14PVDF, 16PVDF nanofibers

	Mean Thickness (mm) ±SD	Mean Weight (g/m ²) ±SD	Mean Nanofiber Diameter (nm) ±SD
12PVDF-15min	<0.01	2.16 ± 0.82	
12PVDF-30min	0.024 ± 0.014	6.52 ± 1.79	
12PVDF-60min	0.035 ± 0.019	11.68 ± 0.96	278.58 ± 111.13
12PVDF-3h	0.055 ± 0.019	28.13 ± 4.30	
12PVDF-5h	0.070 ± 0.017	35.60 ± 0.67	
14PVDF-15min	<0.01	2.63 ± 1.78	
14PVDF-30min	0.030 ± 0.017	7.18 ± 2.59	
14PVDF-60min	0.039 ± 0.015	9.17 ± 2.07	458.77 ± 155.15
14PVDF-3h	0.073 ± 0.021	28.82 ± 2.15	
14PVDF-5h	0.146 ± 0.026	47.20 ± 2.31	
16PVDF-15min	0.026 ± 0.019	2.86 ± 0.18	
16PVDF-30min	0.036 ± 0.014	8.64 ± 0.88	
16PVDF-60min	0.040 ± 0.013	13.95 ± 0.50	870.38 ± 391.16
16PVDF-3h	0.108 ± 0.025	32.58 ± 1.41	
16PVDF-5h	0.156 ± 0.022	51.62 ± 1.75	

3.2. Pore size analysis

Since the pores of nanofiber membranes are caused by the entanglement of the nanofibers, more nanofibers covering a specific area would result in narrower pore size distribution along with smaller pores when nanofiber diameter is constant (Y. Liu et al., 2013). However, membrane thickness may reach a level with the increase of the collection period which won't affect the pore size anymore. Thus, it is important to determine this level to avoid unnecessary extension of collection period in order to optimize the production speed.

The mean pore size (MFP) and pore size distribution are important parameters to determine the membrane arrestment capability [11, 13]. To compare the pore size of the 12PVDF, 14PVDF, 16PVDF nanofibers mats according to their collection period, pore size measurements were carried out by capillary flow porometry in triplicate. FBP, MFP and SPS were given for each PVDF nanofiber membrane in Table 3. Differences in FBP, MFP and SPS were analyzed by one-way ANOVA and followed by Tukey HSD pairwise comparison. Results were splitted by polymer concentration. For each PVDF concentration the difference in MFP was statistically important. According to the Tukey HSD post hoc tests, MFP of 12PVDF-5h and 12PVDF-3h were significantly smaller than 12PVDF-30min and 12PVDF-15min (p<0.05). However, for 16PVDF and 14PVDF nanofiber membranes the differences in MFP were not distinct. The differences in FBP of 12PVDF and 16PVDF nanofiber membranes were important but the differences in FBP of 14PVDF nanofibers were not statistically important, they were found to be in same subset. For 16PVDF nanofiber membranes FBP's were higher than 14PVDF and 12PVDF nanofibers and especially FBP of 16PVDF-15min nanofiber was higher than all other membranes due to

very thick nanofiber mean diameter (870.38 nm) and small amount of nanofiber collection. On contrary, due to thin nanofiber diameter (278.58 nm) and high amount of nanofibers, FBP of 12PVDF-5h was the smallest. There was also significant difference between 12PVDF-5h and 12PVDF-3h, and FBP of these two membranes were smaller than other three 12PVDF nanofiber membranes. It was also observed that for all three PVDF concentration collection period did not cause a significant effect in SPS ($p < 0.05$). It was decreased with decreasing polymer concentration but it was not affected from collection periods, they were all in same subsets ($p < 0.05$). For liquid filtration it is known that especially MFP plays a significant role along with FBP and it was seen that according to the pore size analysis, with finer nanofiber diameters it was possibly to achieve smaller pore size. In addition to this, the differences in FBP and MFP is more significant in case of finer fibers.

The membrane filtration process for the recycling of wastewater into drinking water is being used increasingly around the World. Water flows through semi-permeable and porous medias, often made of PVDF. The size of the pores of a commercial PVDF membrane is about 1 to 2 microns (Arkema Innovative Chemistry, 2019). It was seen that it is possible to achive 1 to 2 microns pore size with fine PVDF nanofiber membranes.

The pores of nanofiber membranes are caused by the entanglement of the nanofibers, thus more nanofibers that cover a specific area resulted in narrower pore size distribution along with smaller pores. However, membrane thickness may reach a level with the increase of the collection period which won't affect the pore size anymore.

Table 3. Pore size measurement of the electrospun 12PVDF, 14PVDF, 16PVDF according to collection period.

	First bubble point (FBP) $\mu\text{m} \pm \text{SD}$	Mean flow pore size (MFP) $\mu\text{m} \pm \text{SD}$	Smallest pore size (SPS) $\mu\text{m} \pm \text{SD}$
12PVDF-15min	4.11 \pm 0.26	2.45 \pm 0.01	1.35 \pm 0.06
12PVDF-30min	3.96 \pm 0.02	2.5 \pm 0.04	1.24 \pm 0.17
12PVDF-60min	3.71 \pm 0.15	2.02 \pm 0.09	1.21 \pm 0.03
12PVDF-3h	2.66 \pm 0.13	1.44 \pm 0.20	1.22 \pm 0.15
12PVDF-5h	1.96 \pm 0.07	1.81 \pm 0.09	1.39 \pm 0.02
14PVDF-15min	6.29 \pm 1.73	2.91 \pm 0.26	1.52 \pm 0.09
14PVDF-30min	4.91 \pm 1.03	2.70 \pm 0.37	1.37 \pm 0.07
14PVDF-60min	4.46 \pm 0.58	2.43 \pm 0.53	2.0 \pm 0.05
14PVDF-3h	3.59 \pm 0.15	1.77 \pm 0.02	1.33 \pm 0.19
14PVDF-5h	4.68 \pm 0.10	1.93 \pm 0.31	1.30 \pm 0.49
16PVDF-15min	16.80 \pm 1.71	5.88 \pm 1.26	4.52 \pm 2.0
16PVDF-30min	13.15 \pm 0.49	5.13 \pm 0.06	3.65 \pm 1.63
16PVDF-60min	11.05 \pm 1.20	4.18 \pm 0.29	3.62 \pm 0.77
16PVDF-3h	10.19 \pm 1.15	2.26 \pm 0.08	2.01 \pm 0.35
16PVDF-5h	7.50 \pm 0.47	3.58 \pm 0.34	2.92 \pm 0.33

3.3 Turbidity rejection results

For the rejection of turbidity test, 200 mg/L kaolin solution (100 ntu) was used, where distilled water showed a turbidity of 0.98 ntu. Fig. 3 shows the particle size distribution of kaolin for which specific surface area was 1.585 m²/g. By taking the average surface weighted mean of each of the trials, the mean particle size for the kaolin used was 3.79 μm . Filtrate rejection rate results of PVDF nanofiber membranes were shown in Fig. 4. Due to bigger pore sizes of 16PVDF nanofiber membranes, turbidity rejection percentage ranged between 80.08 to 90.19%. Higher rejection was achieved with 16PVDF-5h nanofiber membrane. For 15, 30 and 60min there were not any significant difference seen which was about 80%. Turbidity rejection percentages were ranged 89.50 to 95.87% for 14 PVDF nanofiber membranes. Similar to the 16 PVDF nanofiber membranes, turbidity rejection percentages of 14PVDF-15, 30 and

60min nanofibers membranes were very close (89.50, 89.89 and 90.73%, respectively). Higher turbidity rejection percentages were achieved with 12PVDF nanofibers due to its lowest nanofiber diameter which resulted smaller pore sizes. Even turbidity rejection of 12PVDF-15min nanofiber membranes was about 90.32% which is close to 14PVDF-60min and 16PVDF-5h. Highest rejection of 98.52% was belong to 12PVDF-5h nanofiber membrane. It showed a turbidity of 1.48 ntu which was very close to distilled water.

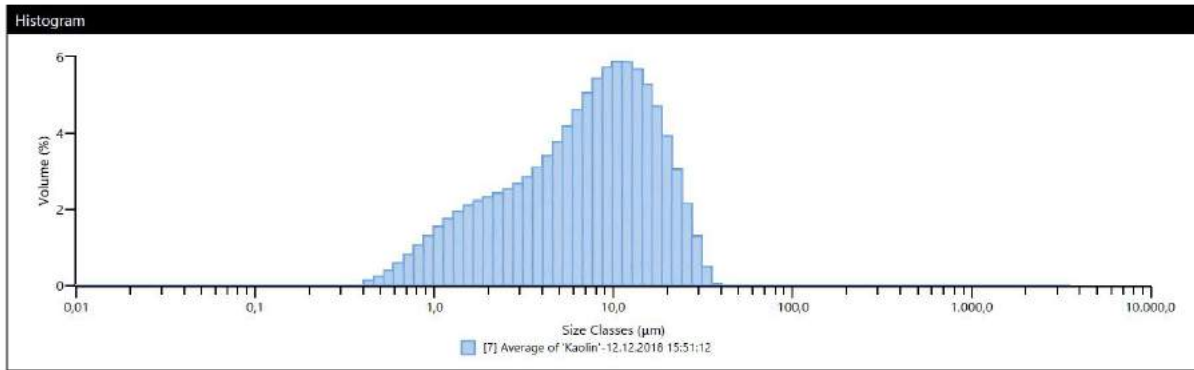


Figure 3. Particle size distribution of kaolin measured using Malvern Hydro 2000S Sizer

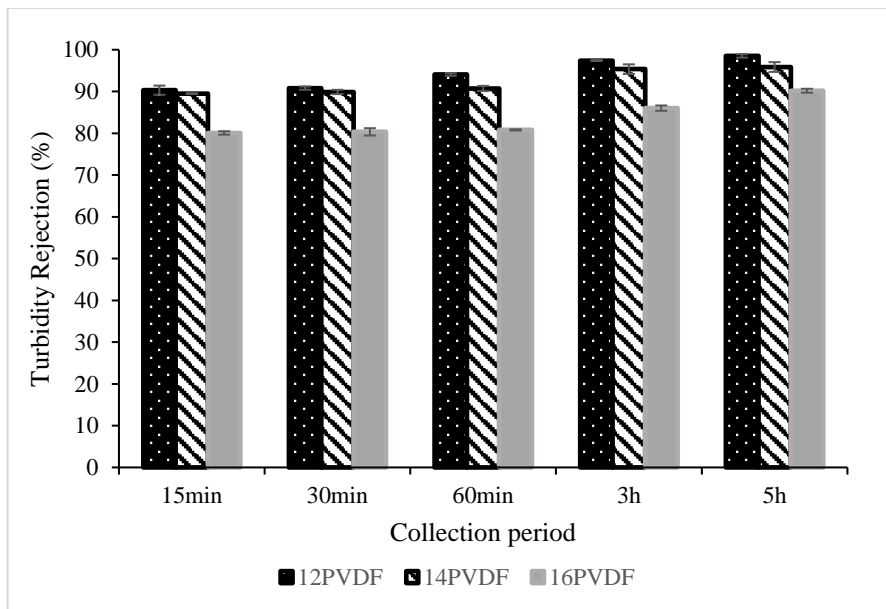


Figure 4. Turbidity Rejection (%) after filtration of 200 mg/L kaolin solution at 1 bar pressure

4. Conclusion

MF membranes are used to filter particulates from liquids and are needed in wastewater treatment, water purification and concentration processes. The most important property for characterizing a porous membrane for MF applications is the pore diameter or pore size. Fine fibers of low diameters give small pore size, high density and high filtration efficiency to filter media. Electrospun nanofiber membranes offer unique properties like high specific surface area, very small pores and good interconnectivity of pores. In this study, PVDF nanofiber membranes with three different mean fiber diameters were produced for MF applications. Decreasing polymer concentration significantly affected the mean fiber diameter and the mean nanofiber diameters were about 278.58, 458.77 and 870.358 nm for 12PVDF, 14PVDF, 16PVDF, respectively. Weight of lighter nanofiber membranes of 15 min collected PVDF nanofibers were ranged 2.86 to 2.13 g/m². Significant differences occurred after 3h, and long collection periods significantly increased the weights of the membranes. The weights of the 5h collected membranes were ranged between 35.60 to 51.62 g/m².

When all three polymer concentration taken into account, the biggest FBP was belong to 16PVDF-15min with 16.8 µm. But FBP of 14PVDF-30min, 14PVDF-60min, 14PVDF-3h and 14PVDF-5h, and all 12PVDF nanofiber membranes were in same subset which means the differences between the FBP these membranes were not significantly different. In case of MFP, there were five subsets, and the biggest MFPs were belonging to 16PVDF-15min and 16PVDF -30min with 5.88 and 5.13 µm, respectively. Except 16PVDF nanofiber membranes, MFP of 14PVDF and 12PVDF nanofiber membranes were not significantly different from each other. On the other hand, the results demonstrated that, when splitted to polymer concentration (16, 14 and 12%), for each PVDF concentration the difference in

MFP was statistically important. MFP of 12PVDF-5h was the smallest and the MFP of 16PVDF-15min nanofiber membrane was the highest.

In correlation with the pore size results it was seen that best turbidity rejection % was belonging to 12PVDF-5h and worst was belonging to 16PVDF-15min nanofiber membranes. Due to bigger pore sizes of 16PVDF nanofiber membranes, turbidity rejection percentage of 16PVDF nanofibers were ranged between 80.08 to 90.19%. Turbidity rejection percentages were ranged between 89.50 to 95.87% for 14PVDF nanofiber membranes and were ranged between 90.32 to 98.52% for 12PVDF nanofiber membranes. Highest rejection of 98.52% was belong to 12PVDF-5h nanofiber membrane. It showed a turbidity of 1.48 ntu which was very close to distilled water. Nevertheless, all of the produced electrospun PVDF nanofiber membranes can potentially be a candidate to effectively remove contaminants from waste water at a relatively low cost. However, when higher filtration efficiencies are required mean fiber diameters should be lower than ~280 nm.

Acknowledgment

Author would like to thank HYFIBER-Abaloğlu Teknoloji for the support given.

References

- Arkema Innovative Chemistry. (2019). Kynar PVDF Membranes. Retrieved from <https://espanol.kynar.com/export/shared/.content/media/downloads/investor-day/2012/innovation-day-kynar-pvdf-membranes.pdf>
- ASTM International. (2014). ASTM F316-03 - Standard Test Methods for Pore Size Characteristics of Membrane Filters by Bubble Point and Mean Flow Pore Test. *Astm*, 03(Reapproved 2011), 1–7. <https://doi.org/10.1520/F0316-03R11.2>
- Bae, J., Baek, I., & Choi, H. (2016). Mechanically enhanced PES electrospun nanofiber membranes (ENMs) for microfiltration: The effects of ENM properties on membrane performance. *Water Research*, 105, 406–412. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.09.020>
- Bae, J., Baek, I., & Choi, H. (2017a). Efficacy of piezoelectric electrospun nanofiber membrane for water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 307, 670–678. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.125>
- Bae, J., Baek, I., & Choi, H. (2017b). Efficacy of piezoelectric electrospun nanofiber membrane for water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 307, 670–678. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.125>
- Baker, R. W. (2004). *Membrane Technology and Applications*. (C. Baker, Richard W. (Membrane Technology and Research, Inc. Menlo Park, Ed.). John Wiley & Sons Ltd., <https://doi.org/10.1002/0470020393>
- Cheng, S., Xiao, Y.-X., Zhao, L.-Y., Zhu, L.-T., Li, R.-L., & Zhu, G.-C. (2017). Fabrication and Characterization of Electrospun Nanofibrous Composite Membrane for Air Filtration. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 10(4), 223–230. <https://doi.org/10.3993/jfbim00272>
- Choi, S. S., Lee, Y. S., Joo, C. W., Lee, S. G., Park, J. K., & Han, K. S. (2004). Electrospun PVDF nanofiber web as polymer electrolyte or separator. *Electrochimica Acta*, 50(2-3 SPEC. ISS.), 339–343. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2004.03.057>
- Cui, Z., Drioli, E., & Moo, Y. (2014). Progress in Polymer Science Recent progress in fluoropolymers for membranes. *Progress in Polymer Science*, 39(1), 164–198. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.07.008>
- Eichhorn, S. J., & Sampson, W. W. (2005). Statistical geometry of pores and statistics of porous nanofibrous assemblies. *Journal of the Royal Society Interface*, 2(4), 309–318. <https://doi.org/10.1098/rsif.2005.0039>
- EMD Millipore Corporation. (2015). Amicon® Stirred Cells.
- Garain, S., Jana, S., Sinha, T. K., & Mandal, D. (2016). Design of In Situ Poled Ce³⁺-Doped Electrospun PVDF/Graphene Composite Nanofibers for Fabrication of Nanopressure Sensor and Ultrasensitive Acoustic Nanogenerator. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(7), 4532–4540. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b11356>
- Huang, L., Arena, J. T., & McCutcheon, J. R. (2016). Surface modified PVDF nanofiber supported thin film composite membranes for forward osmosis. *Journal of Membrane Science*, 499, 352–360. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2015.10.030>
- Hutten, I. M., & Wadsworth, L. (2007). *Handbook of nonwoven filter media. Handbook of Nonwoven Filter Media*. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-441-1.X5015-X>
- Isoyama, R., Taie, M., Kageyama, T., Miura, M., Maeda, A., Mori, A., & Lee, S. S. (2017). A feasibility study on the simultaneous sensing of turbidity and chlorophyll a concentration using a simple optical measurement method. *Micromachines*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/mi8040112>
- Jang, W., Yun, J., Jeon, K., & Byun, H. (2015). PVdF/graphene oxide hybrid membranes via electrospinning for water treatment applications. *RSC Advances*, 5(58), 46711–46717. <https://doi.org/10.1039/c5ra04439a>
- Kynar, K., & PvdF, F. (2014). Performance Characteristics & Data. Retrieved from <https://espanol.kynar.com/export/sites/kynar-latam/.content/medias/downloads/literature/kynar-kynar-flex-pvdf-performance.pdf>
- Lenntech Water treatment & purification. (2019). Turbidity. Retrieved May 21, 2019, from <https://www.lenntech.com/turbidity.htm>
- Letizia, M., & Chiara, F. (2018). *Filtering Media by Electrospinning*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78163-1>
- Li, H.-Y., & Liu, Y.-L. (2014). Nafion-functionalized electrospun poly(vinylidene fluoride) (PVDF) nanofibers for high performance proton exchange membranes in fuel cells. *J. Mater. Chem. A*, 2(11), 3783–3793. <https://doi.org/10.1039/C3TA14264G>
- Liu, F., Hashim, N. A., Liu, Y., Abed, M. R. M., & Li, K. (2011). Progress in the production and modification of PVDF membranes. *Journal of Membrane Science*, 375(1–2), 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.03.014>
- Liu, Y., Wang, R., Ma, H., Hsiao, B. S., & Chu, B. (2013). High-flux microfiltration filters based on electrospun polyvinylalcohol nanofibrous membranes. *Polymer*, 54(2), 548–556. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2012.11.064>

- Mandal, D., Yoon, S., & Kim, K. J. (2011). Origin of Piezoelectricity in an Electrospun Poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene) Nanofiber Web-Based Nanogenerator and Nano-Pressure Sensor. *Macromolecular Rapid Communications*, 32(11), 831–837. <https://doi.org/10.1002/marc.201100040>
- Renuga Gopal, Satinderpal Kaur, Zuwei Ma, Casey Chan, Seeram Ramakrishna, T. M. (2006). Electrospun nanofibrous filtration membrane. *Journal of Membrane Science*, 281, 581–586. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.04.026>
- Ryu, Y. J., Kim, H. Y., Lee, K. H., Park, H. C., & Lee, D. R. (2003). Transport properties of electrospun nylon 6 nonwoven mats. *European Polymer Journal*, 39(9), 1883–1889. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(03\)00096-X](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(03)00096-X)
- Yeow, M. L., Liu, Y. T., & Li, K. (2004). Morphological study of poly(vinylidene fluoride) asymmetric membranes: Effects of the solvent, additive, and dope temperature. *Journal of Applied Polymer Science*, 92(3), 1782–1789. <https://doi.org/10.1002/app.20141>



Experimental Comparison of PbO and BaO Addition Effect on Gamma Ray Shielding Performance of Epoxy Polymer

Yaren Ergin¹, Yaşar Karabul¹, Zeynep Güven Özdemir¹, Mehmet Kılıç^{1*},

¹Yildiz Technical University, Department of Physics, 34220, Istanbul, Turkey (ORCID ID: 0000-0003-4701-2546, 0000-0002-0789-556X, 0000-0001-5085-5814, 0000-0003-1882-0405)

(First received 15 April 2019 and in final form 25 May 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.553952)

ATIF/REFERENCE: Ergin, Y., Karabul, Y., Guven Ozdemir, Z., & Kılıç, M. (2019). Experimental Comparison of PbO and BaO addition effect on Gamma Ray Shielding Performance of Epoxy Polymer. *European Journal of Science and Technology*, (16), 256-266.

Abstract

This study was devoted to investigate the gamma ray shielding abilities of the epoxy composites prepared by using two different reinforcing materials: barium oxide and lead oxide. The Epoxy/PbO and Epoxy/BaO composites were produced by using 10 wt.%, 20 wt.%, and 40 wt.% reinforcing materials to obtain low weight radiation shielders. The heaviness of the samples were compared with some conventional shielding materials such as lead, steel, concrete etc. The gamma ray shielding performance of the pure epoxy and the composites were measured experimentally by using NaI(Tl) detector. In the experiments, Ba-133 point radioactive source was also utilized as a gamma ray source with the 81 keV and 356 keV energies. As the gamma ray shielding parameters of the composites, the mass attenuation coefficient, half layer value and tenth layer value thicknesses and mean free path distance were considered. After comparison of the related parameters of the PbO and BaO added epoxy composites, it was revealed that the gamma radiation shielding performance of the PbO added epoxy composite can also be obtained by adding BaO to the epoxy. However, to achieve the same performance, BaO should be added twice as much as the PbO additive percentage. On the other hand, it was determined that 40 wt.% BaO added epoxy composite exhibits a better radiation shielding performance than steel, concrete and Gd₂O₃ nanoparticle added epoxy composite for the photons with 81 keV and 356 keV energies. Thus, a lightweight and non-toxic gamma-ray shielding material can be produced by using an Epoxy/BaO composite.

Keywords: Epoxy Composite, PbO, BaO, Mass attenuation coefficient, HVL, TVL.

¹ Corresponding Author: Yildiz Technical University, Department of Physics, 34220, Istanbul, Turkey, ORCID ID: 0000-0003-1882-0405, kilic-m@hotmail.com & mekilic@yildiz.edu.tr

1. Introduction

Due to increasing emission of ionized radiation such as X-ray and gamma ray in medical applications, radiation protection has become a very important issue. Radiation protection can be performed by decreasing the time for exposure, increasing the distance between the radioactive source and living body, and using good radiation shielding equipment. Using effective radiation shielding materials is the best reliable way to protect from the harmful results of radiation. Lead and concrete are the most commonly utilized materials for X-ray and gamma ray protection. In recent years, alternative to lead and concrete, scientist have focused on finding alternative radiation shielding material which are transparent, non-toxic, and light weight. Polymers reinforced with elements with high atomic numbers are good candidates which fulfill these requirement mentioned above since polymers play a significant role in in primary and secondary protection against gamma radiation (Hussain, Haq, & Mohammad, 1997; Kucuk, Cakir, & Isitman, 2012). From this perspective, the radiation shielding performance of various polymer composites were researched.

Soylu et al. reinforced the hydrogen-rich, flexible and soft EVA polymer with tungsten carbide with different weight percentages varying between 50 and 70 and studied the gamma ray shielding efficiency of the related composites for the incident gamma photons emitted from the ^{131}I , ^{137}Cs , and ^{241}Am radioactive sources. They found that the best gamma ray shielding performance is achieved by using 70% tungsten carbide for the EVA polymer matrix (Soylu, Lambrecht, & Ersöz, 2015). Furthermore, Li et al. compared the gamma ray shielding performance of the micro- and nano-sized Gd_2O_3 reinforced epoxy polymer composites for the photon energies ranging from 31 keV to 356 keV. They reported that the better gamma ray screening is observed for the epoxy composites include nano-sized Gd_2O_3 (Li, Gu, Wang, et al., 2017). Hou et al. also studied the gamma photon shielding ability of the basalt fiber-tungsten reinforced epoxy matrix for the photon energies of 80 keV, 356 keV, and 662 keV. They determined that the photon attenuation capability of epoxy can be enhanced by using tungsten rich basalt fiber reinforcing material in the epoxy based composite (Hou et al., 2018). Thus, a high Z metal reinforced polymer composites are considered as a new competitors of the conventional lead based radiation shielding materials. From this point of view, this study is devoted to the compare the epoxy based PbO and BaO composites' gamma ray shielding efficiency for the gamma photons emitted from ^{133}Ba source.

2. The Law Used In the Calculation of Radiation Shielding Parameters

To reveal the gamma ray shielding performance of any material, some critical parameters recognized as mass attenuation coefficient, half value layer, tenth value layer, and mean free path have to be known. These parameters can be calculated by using an experimental data of either the absorbed or scattered gamma rays from radiation shielding material. The interaction between gamma rays and a radiation shielding medium is represented mathematically by introducing the exponential decrease in the intensity of the incident beam:

$$-\frac{dI}{dx} = \mu I \quad (1)$$

Eq. (1) is known as Beer-Lambert law. In Eq. (1), μ is the total linear attenuation coefficient of a material having the unit of cm^{-1} . The total linear attenuation coefficient corresponds to the possibility of the occurrence of an interaction between gamma ray and matter per unit length in the radiation shielding medium. The x also is the thickness of the radiation shielding.

The solution of the Beer-Lambert equation is given by Eq. (2) under ideal geometric conditions:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

The terms of I_0 and $I(x)$ appeared in Eq. (2) are the intensities of the incident beam and transmitted gamma ray, respectively. The mass attenuation coefficient of the material which is composed by one type of element is calculated by the ratio of total linear attenuation coefficient and mass density:

$$\frac{\mu}{\rho} = -\frac{1}{\rho x} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3)$$

If the radiation shielding material is a chemical compound or composites or a mixture of some elements, mass attenuation coefficient is calculated by Eq. (4)

$$\mu / \rho = \sum_i w_i (\mu / \rho)_i \quad (4)$$

In Eq. (4), w_i is the fractional weight of the i th constituent in the radiation shielding material (Sayyed, 2016). In addition to mass attenuation coefficient, half value layer (HVL), tenth value layer (TVL), and mean free path (λ) play a significant role in determining the photon attenuation ability of a material. As is known, HVL is defined as the width of a material required to reduce the air kerma of an gamma ray to half its original value, TVL is the width of a material required to reduce the air kerma of an gamma ray to tenth its original value. Mean free part is the average distance at which a gamma ray travels in the radiation shielding material without any interaction (K. Singh et al., 2002; N. Singh, Singh, Singh, & Singh, 2006; S. Singh, Kumar, Singh, Thind, & Mudahar, 2008). HVL, TVL and λ parameters are calculated by using Eqs. (5), (6), and (7), respectively:

$$\text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (5)$$

$$\text{TVL} = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{1}{\mu} \quad (7)$$

In conclusion, a material must have high μ/ρ value, low HVL, TVL and λ values for a good radiation shielding.

3. Experimental

3.1 Materials

Liquid and unmodified bisphenol A-epichlorohydrin epoxide resin (Code: AC510 UV, Taiwan) and the hardener isophorone diamine (Code: AC510 UV, Germany) were supplied from Armor Chemical. The micro powder PbO (CAS #: 1317-36-8, ACS reagent, $\geq 99.0\%$, USA) and BaO (CAS #: 1304-28-5, 97%, USA) were also purchased from Sigma Aldrich.

3.2 Preparation of the Pure Epoxy Resin Matrix

As is illustrated in Figure 1, 1.0 g liquid and unmodified bisphenol A-epichlorohydrin epoxide resin and 0.5 g isophorone diamine hardener solution was mixed mechanically at room temperature for 15 minutes to obtain homogenous pure epoxy solution. The mixing weight ratio of epoxide and hardener was selected as 2 bisphenol A-epichlorohydrin: isophorone diamine.

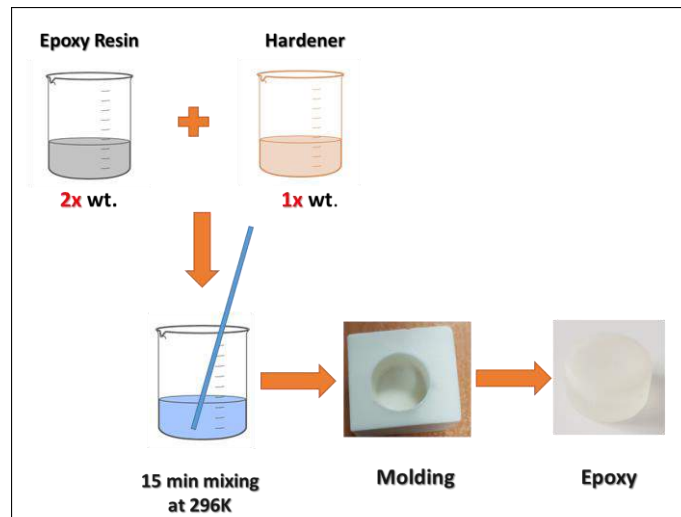


Figure 1. The preparation steps of the pure epoxy sample.

Finally, as shown in Figure 1, the solution was poured into a circular shaped teflon mold and the solution was dried in the mold for 24 h at room temperature.

3.3 Preparation of the Epoxy/BaO and Epoxy/PbO Composites

The Epoxy/BaO and Epoxy/PbO composites were also produced following the steps described above. As shown in Figure 2, initially the reinforcing materials (PbO and BaO powders) were grinded with agate mortar for 10 minutes. Then the reinforcing powders with different weight percentages were added to the 0.6-0.9 g liquid unmodified bisphenol A-epichlorohydrin epoxide resin and the mixtures were stirred in magnetic stirrer for 20 minutes. After the stirring process, the hardener was added (0.3-0.45 g) to the mixture with an appropriate masses and the resultant mixture was mixed mechanically for 15 minutes. As a last step, the final solution was poured into the mold and kept at room temperature for 24 hours.

Each samples was prepared with two different thickness for gamma ray spectroscopy experiments. While the radii of the samples were 10 mm; their thickness were measured between 1.8 mm and 2.4 mm.

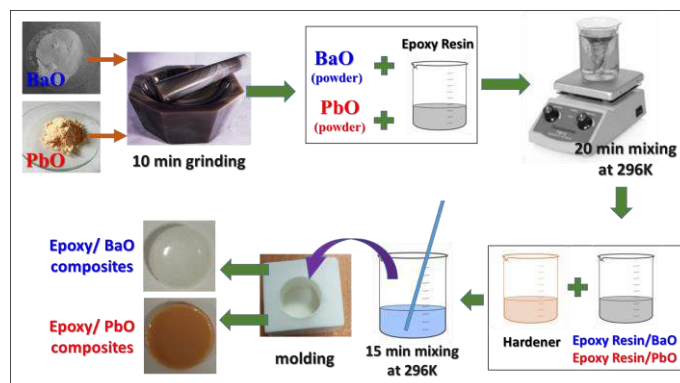


Figure 2. The preparation steps of the Epoxy/PbO and Epoxy/BaO composites.

The mass density of the radiation absorbing materials produced in the present study was calculated by using Archimedes’ principle and the listed in Table 1. Additionally, the mass amounts of epoxy, PbO, and BaO in gram units were shown in Table 1.

Table 1. The mass amounts of epoxy, PbO, and BaO in the composites along with the mass density of these absorbing materials.

Sample	Mass Amount (g)			$\rho_{abs. mater.}$ (g/cm ³)
	Epoxy+ Hardener	PbO	BaO	
Epoxy	1.500	--	--	1.255
Epoxy/10% PbO	1.350	0.150	--	1.423
Epoxy/20% PbO	1.200	0.300	--	1.633
Epoxy/40% PbO	0.900	0.600	--	1.969
Epoxy/10% BaO	1.350	--	0.150	1.388
Epoxy/20% BaO	1.200	--	0.300	1.502
Epoxy/40% BaO	0.900	--	0.600	1.763

The percentages in the heaviness of the samples were also calculated by Eq. (8):

$$\text{Heaviness (\%)} = \left[\frac{\rho_{\text{absorbing material}}}{\rho_{\text{lead}}} \right] \times 100 \tag{8}$$

where ρ_{lead} is considered as the mass density of the reference absorbing material (lead) that has the maximum heaviness of 100%. The heaviness of each samples was compared with some of the conventional radiation shielding materials such as lead, steel, barite and ordinary concrete. For this comparison, the mass density values for the lead, steel, barite and ordinary concrete was taken as 11.34 g/cm³, 7.85 g/cm³, 4.48 g/cm³, 2.3 g/cm³, respectively (Eisenbud & Gesell, 1997; Ms, Mondal, & Tripathi, 2010). The heaviness of the samples prepared in this study was compared with the related materials in Figure 3.

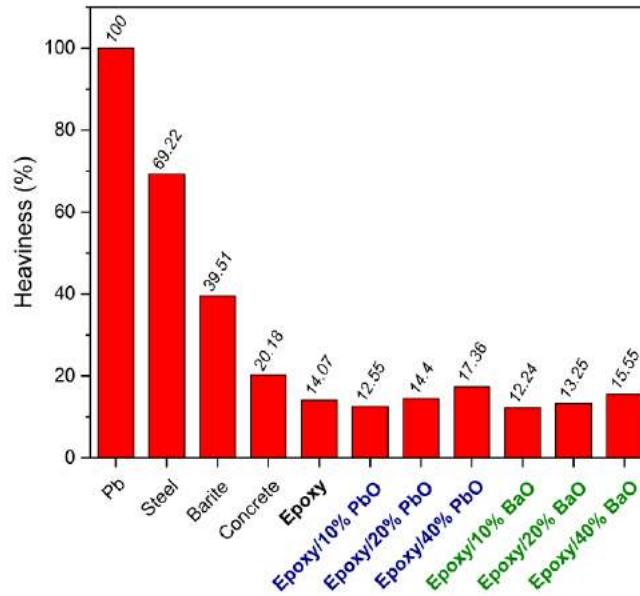


Figure 3. The heaviness of some conventional radiation shielding materials and the samples prepared in the present study.

As shown in Figure 3, the samples prepared in this study have a high low-weight advantage relative to these four conventional radiation shields. Additionally, as it will be emphasized in Section 4, lead free epoxy composite with the higher BaO content has higher gamma ray absorption capacity than concrete at 81 keV and 356 keV.

3.4 Setup for Gamma Ray Spectroscopy Experiments

The experimental setup for determining the gamma radiation shielding ability of the samples was illustrated in Figure 4.

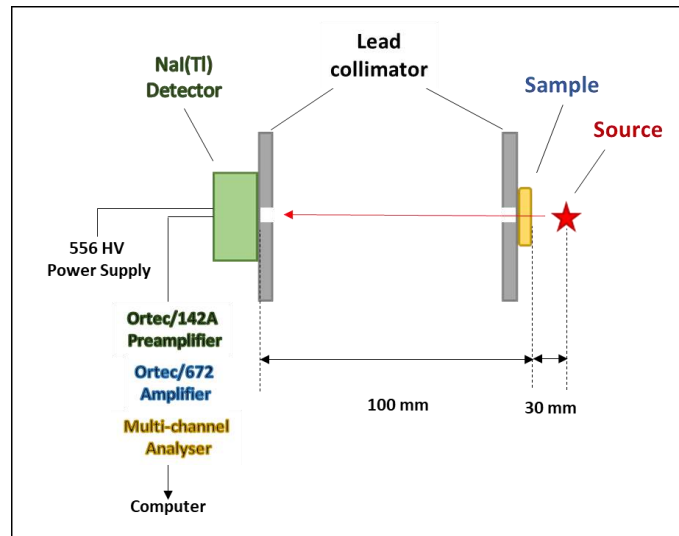


Figure 4. The experimental setup gamma ray spectroscopy measurements.

The mass attenuation coefficients of the samples were calculated by measuring an attenuated and un-attenuated intensities (I and I_0) given in Eq. (3) with NaI(Tl) detector. The dimension of the detector is $7.62 \text{ cm} \times 7.62 \text{ cm}$. The gamma rays emitted from the Ba-133 point radioactive source were 81 keV and 356 keV. The model of the NaI(Tl) detector was 905-4 Ortec-Amtek. The photomultiplier tube (PMT) base, digiBASE (Ortec) had also 6.3 cm diameter and 8.0 cm length. The FWHM was equal to 46 keV at 662 keV and 65 keV at 1330 keV. NaI crystal was separated from the PMT by a glass window with the thickness of 5 mm. The experimental data were analyzed by the Maestro software. Additionally it was collected into 2048 channels of the MCA. The experimental setup was also shown schematically in Figure 4.

4. Results and Discussions

The photon absorption abilities of the materials produced in the context of this study were discussed in terms of mass attenuation coefficients, HVL, TVL, and mean free path radiation shielding parameters. For this purpose, by using the experimental setup given in Figure 4, the attenuated and un-attenuated intensities (I and I_0) were measured experimentally for the photon energies of 81 keV and

356 keV. Then the mass attenuation coefficients of pure epoxy and epoxy based oxide composites were calculated according to Eq. (3). The additive weight percentage dependence of the mass attenuation coefficient of the epoxy was shown in Figure 5(a) and (b) for the 81 keV and 356 keV photon energies, respectively.

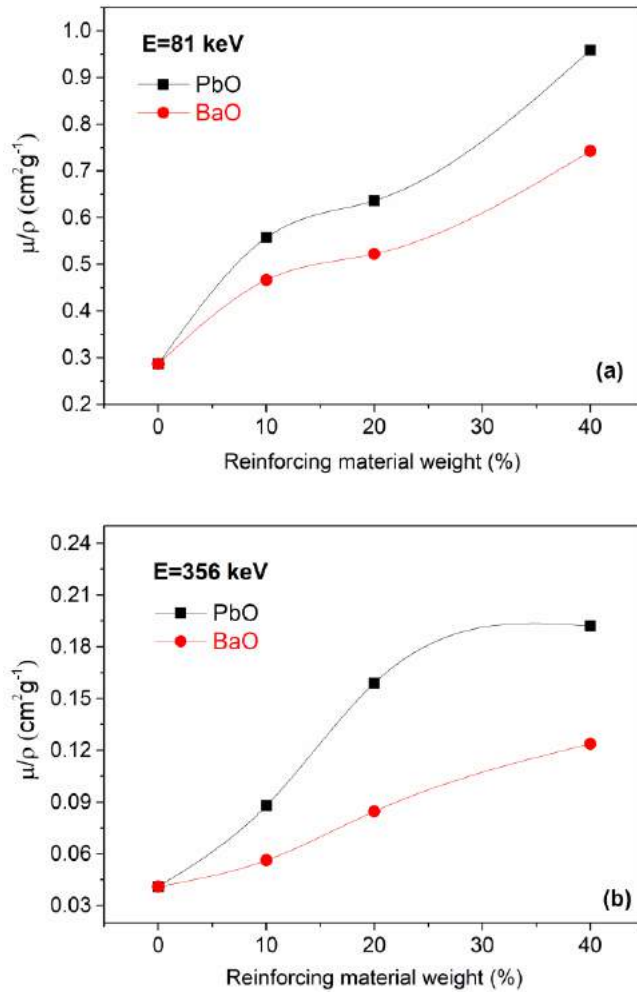


Figure 5. The variation of mass attenuation coefficient of the epoxy with different PbO and BaO reinforcing wt. percentages for the (a) 81 keV and (b) 356 keV photon energies.

As is clearly observed that since pure epoxy consists of elements with low atomic numbers (H, C, O and N), it has the lowest photon absorption ability which manifests itself as the lowest mass attenuation coefficients for the photon energies of 81 keV and 356 keV among other samples prepared (Li, Gu, Zhang, et al., 2017). However, it was revealed that the photon absorption performance of epoxy can be increased by using high Z metal oxide materials such as PbO and BaO at both photon energies (See Figure 5(a) and (b)). Moreover, it is worth to note that since $_{82}\text{Pb}$ has higher atomic number than $_{56}\text{Ba}$, when the addition of the same weight percentages of PbO and BaO to epoxy is compared in the context of μ/ρ , PbO contribution to epoxy results in higher μ/ρ coefficient than that of BaO. On the other hand, it is a remarkable point that when the BaO additive percentage exceeds 40 wt. % in the epoxy matrix, the μ/ρ coefficient is greater than the μ/ρ coefficient of the 20 wt.% PbO doped epoxy (see Table 2). In other words, the better gamma ray shielding performance could be obtained with 40 wt.% BaO addition to epoxy instead of using 20 wt.% toxic PbO in the epoxy matrix. In table 2, the mass attenuation coefficients of the samples with the highest PbO and BaO additive percentage produced in the present work were compared with some conventional gamma ray shielding materials. According to Table 2, it was also determined that Epoxy / 40% BaO composite shields the gamma ray better than some traditional gamma ray screeners such as steel, bricks, cements, concrete, and Epoxy/ Gd_2O_3 nanocomposites at both 81 keV and 356 keV. On the other hand, it was determined that 40 wt. % lead oxide added composite shows the best performance among the materials listed in Table 2 for both photon energies.

Table 2. Mass attenuation coefficients of some traditional radiation shielding materials reported in scientific literature along with the epoxy composite with high PbO and BaO content for the photon energies of 81 and 356 keV.

Material	Mass attenuation coefficient (cm ² g ⁻¹)	
	81 keV	356 keV
Steel SS304L (V. P. Singh, Medhat, & Shirmardi, 2015)	0.587*	0.099
Epoxy/20.1 wt.% Gd ₂ O ₃ nanocomposite (Li, Gu, Wang, et al., 2017)	0.911*	0.103
Bricks (Tekin & Manici, 2017)	0.183	0.098
Cements (Tekin & Manici, 2017)	0.211	0.096
Concrete (Tekin & Manici, 2017)	0.200	0.101
Epoxy/40 % BaO	0.743	0.123
Epoxy/40 % PbO	0.958	0.192

* The mass attenuation coefficient was reported for 80 keV photon energies.

According to Figure 5, the mass attenuation coefficient of the samples decreased when the photon energy increases. While the high μ/ρ coefficient for the low photon energies is attributed to the high possibility of occurrence of photon absorption via photoelectric effect, the considerable low μ/ρ coefficient observed for the high photon energies is due to the reduced possibility of photoelectric effect and occurrence of Compton scattering. In Compton scattering process, the photons with high energy are attenuated via Compton scattering and the scattered photons with low energy are also absorbed by photoelectric effect (Li, Gu, Wang, et al., 2017). Hence, the mass attenuation coefficient decrease for the high energetic photons. On the other hand, the possibility of the occurrence of photon absorption via photoelectric effect is directly proportional to the Z^3 (Azman, Siddiqui, Hart, & Low, 2013). From this respect, determination of the higher mass attenuation coefficients for the epoxy composite including of lead oxide relative to that of the composite having barium oxide content is a natural consequence of this reality.

To determine the photon absorption ability of a radiation shielding material, along with the mass attenuation coefficient, the critical thicknesses of HVL and TVL are commonly used. The reinforcing material weight dependencies of HVL and TVL were shown in Figure 6 and 7 for the epoxy composites including PbO and BaO with different wt. percentages for the incident photon energies of 81 keV and 356 keV.

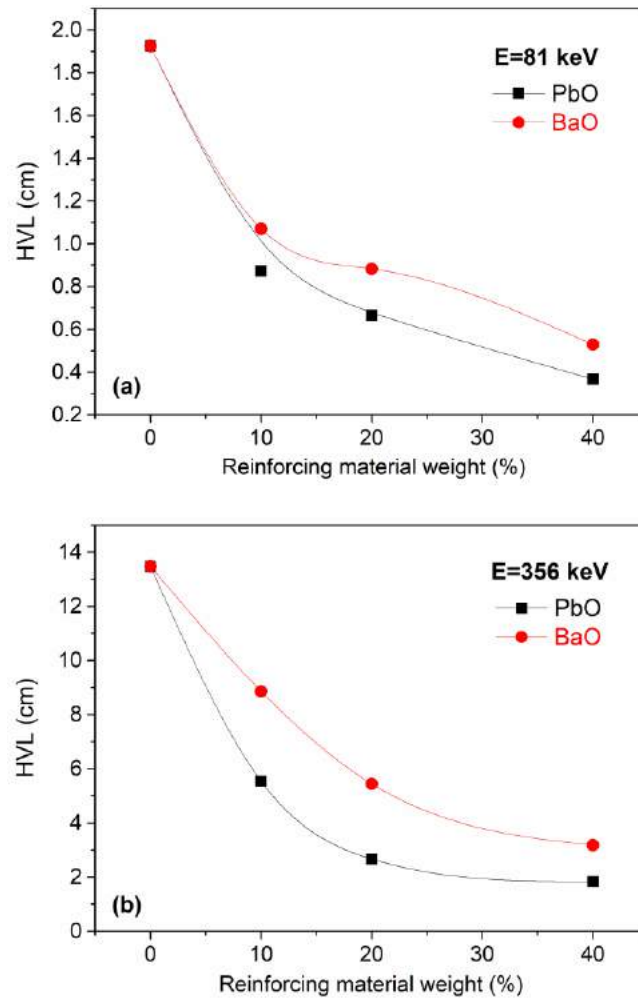


Figure 6. The HVL of the epoxy based composites at (a) 81 keV and (b) 356 keV photon energies.

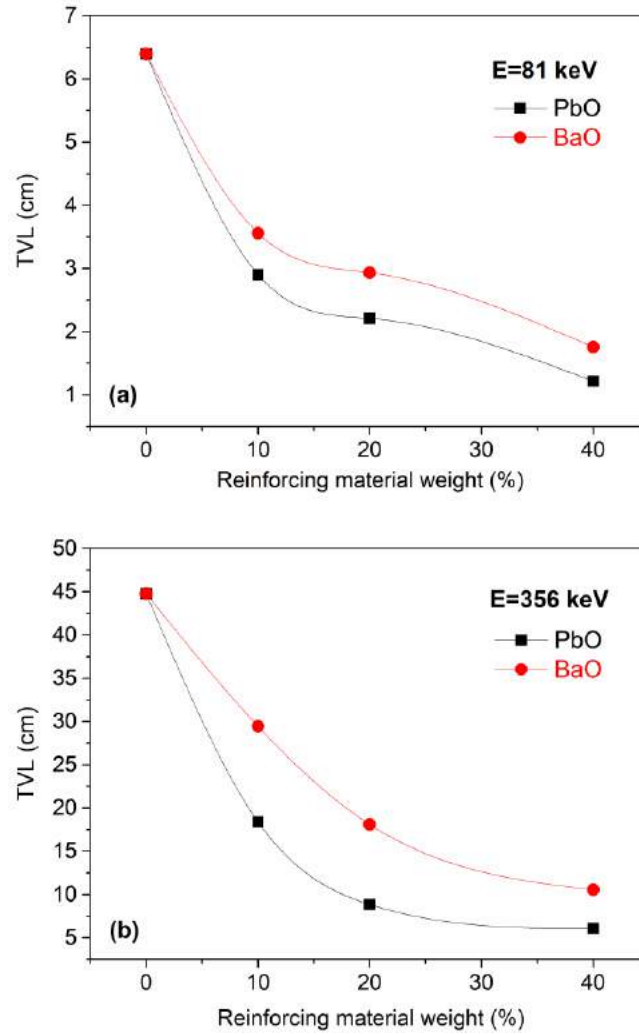


Figure 7. The TVL of the epoxy based composites at (a) 81 keV and (b) 356 keV photon energies.

In Figure 8, the variations of mean free path of the epoxy with reinforcing materials were also given for the 81 keV and 356 keV. When the HVL, TVL and mean free path parameters of all samples are interpreted together for both incident photon energies, the trends of the curves given in Figures 6-8 are in good agreement with the findings deduced from the mass attenuation coefficient versus reinforcing material weight curves shown in Figure 5. Since the values of HVL, TVL and λ parameters are accepted as the indicators of the radiation shielding performance of the materials, the lower HVL, TVL and λ values implies the better radiation shielding performance due to lesser volume requirements of the samples.

In conclusion, the photons having high energy will have more penetration within the epoxy based composites comparing to the photon having low energy. When the results are compared with a commercial polymer composite consisting of 15 wt.% polypropylene copolymer, 75 % iron oxide powder and 10 wt.% impact modifier (QUEO 8210), since the commercial polymer composite has the mean free path values of 2.549 cm (81 keV) and 4.694 cm (356 keV) and the HVL values of 1.767 (81 keV) and 3.254 (356 keV) (Büyükyıldız et al., 2018); it was revealed that both epoxy composites include 40 wt.% PbO or 40 wt.% BaO reinforcing material exhibit better gamma radiation shielding than the commercial composite for each photon.

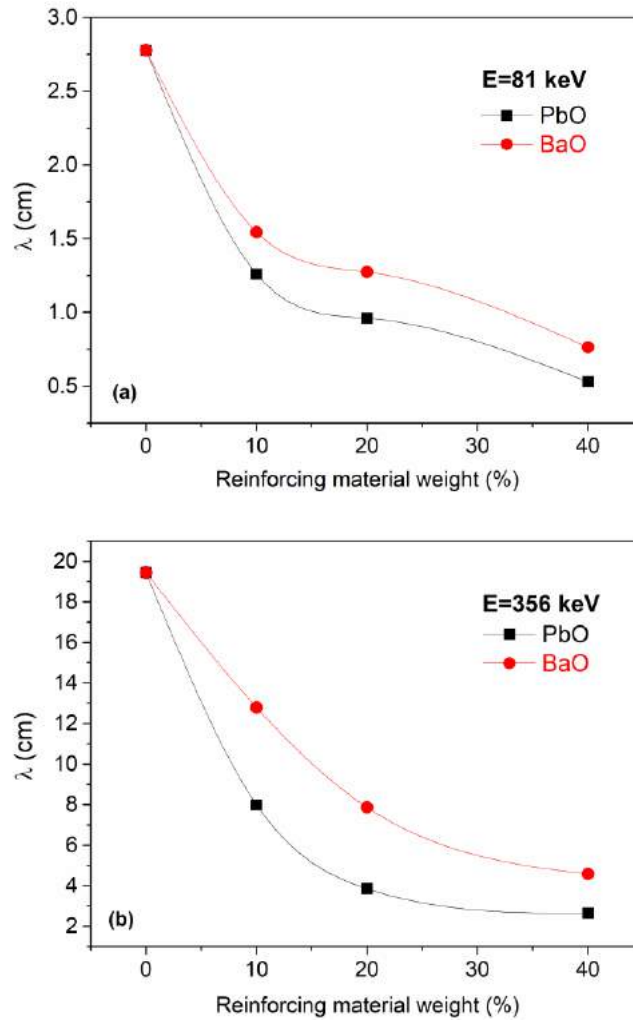


Figure 8. The change in the mean free path of the epoxy due to increasing PbO and BaO wt. % for the incident photon energies of (a) 81 keV and (b) 356 keV.

Additionally, as expected the Epoxy/PbO composites have lower HVL, TVL and λ parameters than that of Epoxy/BaO composites for both incident photon energies. In the light of all results, Epoxy/40 wt.% BaO composite can be suggested as an eco-friendly and low weight radiation shielding material alternative to some traditional radiation shielders.

5. Conclusions

In this study, the mass attenuation coefficient, half value layer, tenth value layer and mean free path of the epoxy polymer based composites which includes both lead oxide and barium oxide with different weight percentages were determined experimentally for the incident photon energies of 81 keV and 356 keV emitted from Ba-133 point radioactive source. The results related to the PbO and BaO added epoxy composites were compared with both each other and some conventional gamma ray shielding materials. As a result of this comparative study, it was deduced that 40 wt.% BaO added epoxy composite can be suggested as a non-toxic and low heaviness promising material for low energetic gamma radiation shielding material.

References

- Azman, N. N., Siddiqui, S., Hart, R., & Low, I.-M. (2013). Effect of particle size, filler loadings and x-ray tube voltage on the transmitted x-ray transmission in tungsten oxide—epoxy composites. *Applied Radiation and Isotopes*, 71(1), 62-67.
- Büyükyıldız, M., Taşdelen, M., Karabul, Y., Çağlar, M., İçelli, O., & Boydaş, E. (2018). Measurement of photon interaction parameters of high-performance polymers and their composites. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 173(5-6), 474-488.
- Eisenbud, M., & Gesell, T. F. (1997). *Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources: from natural, industrial and military sources*: Elsevier.
- Hou, Y., Li, M., Gu, Y., Yang, Z., Li, R., & Zhang, Z. (2018). Gamma ray shielding property of tungsten powder modified continuous basalt Fiber reinforced epoxy matrix composites. *Polymer Composites*, 39(S4), E2106-E2115.
- Hussain, R., Haq, Z.-U., & Mohammad, D. (1997). A study of the shielding properties of poly ethylene glycol-lead oxide composite. *J Islamic Acad Sci*, 10(3), 81-84.
- Kucuk, N., Cakir, M., & Isitman, N. A. (2012). Mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron densities for some polymers. *Radiation protection dosimetry*, 153(1), 127-134.
- Li, R., Gu, Y., Wang, Y., Yang, Z., Li, M., & Zhang, Z. (2017). Effect of particle size on gamma radiation shielding property of gadolinium oxide dispersed epoxy resin matrix composite. *Materials Research Express*, 4(3), 035035.
- Li, R., Gu, Y., Zhang, G., Yang, Z., Li, M., & Zhang, Z. (2017). Radiation shielding property of structural polymer composite: continuous basalt fiber reinforced epoxy matrix composite containing erbium oxide. *Composites Science and Technology*, 143, 67-74.
- Ms, A., Mondal, A., & Tripathi, R. (2010). Radiation Protection Manual.
- Sayyed, M. (2016). Investigation of shielding parameters for smart polymers. *Chinese journal of physics*, 54(3), 408-415.
- Singh, K., Singh, H., Sharma, V., Nathuram, R., Khanna, A., Kumar, R., . . . Sahota, H. S. (2002). Gamma-ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 194(1), 1-6.
- Singh, N., Singh, K. J., Singh, K., & Singh, H. (2006). Gamma-ray attenuation studies of PbO–BaO–B₂O₃ glass system. *Radiation Measurements*, 41(1), 84-88.
- Singh, S., Kumar, A., Singh, D., Thind, K. S., & Mudahar, G. S. (2008). Barium–borate–flyash glasses: as radiation shielding materials. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 266(1), 140-146.
- Singh, V. P., Medhat, M., & Shirmardi, S. (2015). Comparative studies on shielding properties of some steel alloys using Geant4, MCNP, WinXCOM and experimental results. *Radiation Physics and Chemistry*, 106, 255-260.
- Soylu, H., Lambrecht, F. Y., & Ersöz, O. (2015). Gamma radiation shielding efficiency of a new lead-free composite material. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 305(2), 529-534.
- Tekin, H. O., & Manici, T. (2017). Simulations of mass attenuation coefficients for shielding materials using the MCNP-X code. *Nuclear Science and Techniques*, 28(7), 95.



Büyük Veride Hadoop Mimarisi ile VoIP Güvenliği Önerisi

Atınç Yılmaz^{1*}

¹ Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0038-7519)

(İlk Geliş Tarihi 26 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 25 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.544829)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz, A. (2019). Büyük Veride Hadoop Mimarisi ile VoIP Güvenliği Önerisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 267-274.

Öz

Günümüzde kuruluşların birçoğu, siber saldırıyı etkisiz hale getirmek için anomalileri tanımlamak, tehditleri algılamak, alarmları doğrulamak ve güvenlik olaylarını belirlemek adına güvenlik istihbaratında büyük veri teknolojisini kullanmaktadır. Büyük veride hadoop benzeri mimariler anlık tehditleri rasyonel bir bakış açısı ile hesaplayabilme yeteneğine sahiptir. Bu açıdan büyük verinin mantıksal çözümlemesinden yararlanan kuruluşlar öncelikle gizlilik ve güvenlikle ilgili sorunları halletmek istemektedirler. Büyük veri mimarileri ağ üzerinden yapılan anomali ve sahtekarlık girişimlerinin tespiti için sistemlere destek olmaktadır. Hadoop mimarisi gibi anlık izleme yapabilen gelişmiş Büyük Veri teknolojileri, çok büyük ve karmaşık verilerin depolanmasını ve analiz edilmesini benzeri görülmemiş bir ölçekte ve hızda doğrulamaktadır. Bu çalışmada çok hızlı veri trafiğinde VoIP (Voice Over IP) paketlerinin tespit edilerek, VoIP güvenliğinin sağlanması incelenmiştir.

(Minimum 250 – Maksimum 400 kelime ve içeriğinde amaç, materyal-metot, bulgular ve sonuç kısımlarını içerecek şekilde yazılmalıdır.)

Anahtar Kelimeler: Büyük Veri, Hadoop, VoIP, Ağ Güvenliği.

Proposed VoIP Security with Hadoop Architecture in Big Data

Abstract

Today, many organizations use large data technology in security intelligence to identify anomalies, detect threats, verify alarms, and identify security incidents to neutralize cyber attacks. In large data, hadoop-like architectures are capable of calculating instant threats with a rational perspective. In this respect, organizations that take advantage of the logical analysis of large data primarily want to handle privacy and security issues. Large data architectures support systems to detect anomalies and fraud attempts over the network. Enhanced Big Data technologies, such as the Hadoop architecture, can instantly monitor storage and analysis of very large and complex data on an unprecedented scale and speed. In this study, VoIP packages were determined in very fast data traffic and the security of VoIP was investigated.

(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

Keywords: Big Data, Hadoop, VoIP, Network Security.

* Sorumlu Yazar: Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0038-7519, atincyilmaz@beykent.edu.tr

1. Giriş

IP(internet protocol) ağı altyapısı ile haberleşmenin birlikte çalışması mantığı, e-posta servisleriyle başlayarak hızlı mesaj servisi (instant message) ile devam etmiştir. Bu kapsamda 1995 yılında Vocaltec tarafından ilk IP telefon servisi verilmiştir. PC üzerinden arama ise 1998 yılında gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında ise bu mantık telefonda telefona şeklinde uygulanmıştır. Piyasada pazar payı büyük olan Cisco, Lucent, Nortel gibi firmaların Voice Over IP (VoIP) ağ anahtarlarının üretimine önem vermesi ile birlikte ilgili teknolojinin gelişimi hız kazanmıştır. 2000'li yılların başında VoIP trafiği, toplam ses trafiğinin %3'ünü geçmiş; 10 yıl içinde bu oran %44'lere ulaşmıştır.

Paket anahtarlama IP ağı üzerinden sesin iletilmesi mantığı VoIP'in tanımını vermektedir. Sesin iletilmesi için öncelikle analog işaretler sayısallaştırılıp sıkıştırılmaktadır. Ardından sıkıştırılmış sayısal veriler paketlere ayrılarak IP ağı üzerinden gönderimi sağlanır. Gönderilen sayısal işaret alıcı tarafında analog işarete dönüşümü sağlanır. Bu adımlar ile tek IP ağı ile veri iletimi tamamlanmış olmaktadır. VoIP az maliyetli olmasının yanında video konferans gibi yeni servislerin ve uygulamaların eklenebilme kolaylığı sayesinde kullanımı artmıştır.

Anomali, problem için tanımlanmış normal nitelikli davranışlara uygun olmayan davranışlardır. Siber saldırıların önlenmesi adına kuruluşların bir çoğu anomalileri tanımlamak için büyük veri teknolojilerini kullanmaktadır. Bunun yanında büyük veri teknolojisi güvenlik istihbaratlarında, tehdit algılamalarında, alarmları doğrulamakta kurumlar için uygulanmaktadır. Büyük verinin mantıksal olarak çözümlenmesinin yanında kurumlar için diğer bir risk verilerin güvenliği ve gizliliğidir. Hadoop, Apache Spark gibi teknolojiler büyük veri için potansiyel tehditleri hesaplayabilme yeteneğine sahiptir. Bu gibi teknolojiler çok büyük boyutlu ve karmaşık yapıda olan verilerin depolanıp analiz edilmesini hızlı ve büyük ölçekli şekilde sağlamaktadırlar.

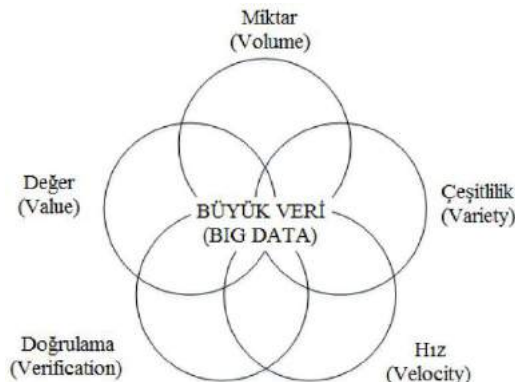
VoIP teknolojisi gerçek zamanlı veri ileten bir sistemdir. Sürekli olarak veri aktarımı gerçekleşmesi ortaya büyük bir veri oluşturmaktadır. Bunun yanında verinin sürekli akmasından ötürü gelen paketler güvenlik riskini arttırmaktadır. Bu çalışmada büyük veri yöntemlerinden biri olan Hadoop mimarisi üzerinden VoIP güvenliği amaçlanarak bir mimari önerilmiştir. Önerilen bu mimari sayesinde VoIP paketleri tespit edilip sınıflandırılarak; paketlerin önceliklendirilmesi sağlanacaktır.

Çalışmanın 2. bölümünde büyük veriden bahsedilecek; 3. Bölümde ise VoIP Teknolojisi ele alınarak önerilen sistem açısından saldırı türlerine yer verilecektir. 4. Bölümde geleneksel güvenlik çözümleri ele alınarak detaylı inceleme sağlanacaktır. 5. bölümde Hadoop mimarisi üzerinden önerilen bir güvenlik yapısı detaylı bir şekilde açıklandıktan sonra son bölümde çalışmanın analizi gerçekleştirilecektir.

2. Büyük Veri

Büyük Veri (Big Data) terimi nispeten son yıllarda ortaya çıksada, detaylı veri analizi için büyük miktarlarda bilgi toplama ve depolama eylemi uzun yıllardır kullanılmaktadır. Büyük verinin kullanılabilmesi belirli bir ölçeklendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu bilgiler ışığında, ölçeklendirilemeyen veri yönetimi zorlaştırmaktadır [1].

Yıllar içerisinde bilgisayar ağlarının daha da büyüyerek karmaşıklaşması ve iletişim teknolojilerinin gelişimi veri depolama sistemleri için bazı ihtiyaçlar ortaya çıkartmaktadır. Bu hızlı gelişim ile Sensör Ağları, Sosyal Medya Ağları, Dijital Kütüphaneler ve Arşivler, Multimedya Koleksiyonları ve Web Veri Hizmetleri gibi kullanılan çeşitli bilgisayar sistemleri ürettikleri bilgiler ile ortaya büyük bir veri oluşturmaktadır [2]. Bu durum çok büyük verilerin üretildiği, bu verilerin saklanması, işlenmesinin ve yönetilmesinin çok önemli olduğu bir tasarıma ihtiyaç duymaktadır. Performans ve esneklik ihtiyacının giderek arttığı bu veri ortamında JAVA kütüphanesi temelli bir tasarım ortaya çıkmaktadır. Bu yeni mimarinin ismi Hadoop (HDFS, Hadoop Distributed File System) olarak adlandırılmaktadır. Hadoop esas olarak verilerin devasa boyutlara ulaşması nedeniyle, verileri saklamak için geliştirilmiştir. [1,3]. Büyük Veri yapısını yöneterek ağ yapısındaki işleri kolaylaştırmaktadır. Gelişen teknolojilerin ardından veri boyutları oldukça artmaktadır. Artan veri boyutu, verilerin analizini de daha zor hale getirmiştir. Bu durumdan ötürü büyük veriler ile çalışan sistemlerde verilerin hızlı işlenip analiz edilmesi önemli bir problemdir. Büyük verilerin tek makine üzerinde işlenerek analiz etme düşüncesi, analiz süresinin istenen seviyede olmayacağı dönüşümü sağlamaktadır. Süreyi iyileştirmek için yapılan kod düzeltimi veya makinenin donanımsal olarak kuvvetlenmesinin sağlanması adımları işe yaramakla birlikte tam randımanlı bir sonuç vermeyebilir.



Şekil 1. Büyük Veri

Büyük verinin oluşumu açısından 5 temel özellik vurgulanmaktadır. Bunlar sırasıyla çeşitlilik, hız, veri büyüklüğü, doğrulama ve değer olarak belirtilmektedir (Şekil 1). Çeşitlilik (variety) temelde verilerin elde edildikten sonra bir başka veriye dönüştürülebilir olması esasına dayanmaktadır. Veriler çok çeşitli kaynaklardan toplanabilir. Bu çeşitli veriler bütünlük şeklinde kullanılabilir olabilmektedir. Bir diğer özellik olan hız (velocity) gün geçtikçe verilerin inanılmaz boyutlara ulaşması sonucu meydana gelmektedir[4,5]. Bu yapıda büyüyen veri aynı oranda işlem sayısı olarak ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda bilgisayar ağı yapısının bu hızı karşılayabilmesi gerekmektedir. Büyük veride hız kavramı temel aşamada değerlendirilmektedir. Veri büyüklüğü (Volume) veri tabanı sisteminin doğru planlanarak sistem kurulumu esnasında büyüyen veri ile nasıl başa çıkılacağı hesaplanarak elde edilebilmektedir. Doğrulama özelliği (Verification) bu yapının güvenlik tarafını temsil etmektedir. Veri güvenliği olmadığı süreçte sistem kullanılmaz ve bütün yapı bozulabilir. İşte bu sürekli sisteme gelen büyük veri izinler ile doğru kişiler tarafından görülebilir olmalıdır[6]. Kurulan yapı itibarıyla ortaya çıkan büyük verinin sunucu tarafında saklı kalarak gerekli ağ protokolleri ile yönetilmesi gerekmektedir. Son olarak Değer (Value) bu özellikler arasında öne çıkan kurallardan biridir[4,5,7]. Bilgi işlendikten sonra veri haline gelmektedir. Bu durumda bilginin doğru işlenerek ihtiyaç duyulan veriler elde edilmelidir. Büyük veri kullanılan kurum tarafından gerekli içeriğe sahip olmalıdır[8]. Şekil 1’de büyük veri parçalara ayrılmıştır. 5 temel özellik belirli bir çerçeve içerisinde ifade edilmiştir

3. VoIP Teknolojisi

IP protokolü kullanarak ses iletimi sağlayan teknoloji Voice Over IP (VoIP) olarak isimlendirilmektedir. VoIP mantığında ses telefon sistemleri ile değil internet üzerinden taşınmaktadır (Şekil 2). İletim esnasında bağlantının uçları VoIP telefonları, bilgisayarlar veya IP ağından oluşmaktadır. Bu birimler bloklardan meydana gelen bağlantı ucunu ifade etmektedir. Bloklar ise kodlayıcı, çözücü ve vocoderi içermektedir. Bu sayede ses analogtan sayısal; ardından sayısalan analoga dönüşüm işlemi ile kodlanmış sesin sıkıştırılma işlemi de sağlanmış olmaktadır.

Ağ arayüzü kartının sahip olduğu protokoller vasıtası ile elde edilen veri paketlere bölünür [9]. Bunun yanında sinyalleme ve çağrı işlemleri de ağ arayüzü kartı üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Paketlerin bu trafikte iki taraflı olarak iletilmesi ve sonlanmasında ortam görevini IP ağı görmektedir. VoIP teknolojisinde konuşma esnasında bütün hat kesinlikle tek duruma tahsis edilmez. Eğer konuşma esnasında veri akımı yok ise boş kalan hat başka bir durum için yönlendirilir. Bu sayede sistemin verimliliği artırılmış olmakla birlikte büyük tasarruf sağlanmış olmaktadır.

VoIP teknolojilerinde tıpkı telefon sistemleri gibi iki protokol kullanılmaktadır. Bu protokoller sinyalleşme ve medya iletişim protokolleridir. SIP(Session Initiation Protocol) ve H.323 protokolleri sinyalleşme için; RTP (Real Time Transport) protokolü medya iletişimi için kullanılmaktadır.



Şekil 2. VoIP Teknolojisi

3.1. VoIP Protokolleri

Literatürde birçok farklı VoIP protokolü bulunmaktadır. Bunun nedeni farklı nedenlerden ötürü farklı protokol kullanımına ihtiyaç olabilmesidir. Bütün ihtiyaçlar tek bir protokolda düşünülmesi olasılık dahilinde olmakla birlikte kurumlar kendi ihtiyaçlarına göre protokol seçimi yapmayı tercih etmektedirler. Farklı protokollerin ortak çalışması için geliştirilen arayüzlerin varlığı tek protokolda birleşme fikrini zayıflatmaktadır.

3.1.1. Sinyalleşme Protokolleri

IP üzerinden ses iletilmesinde sinyalleşme için kullanılan protokollerdir [10]. SIP (Session Initiation Protocol), H.323, SCCP (Skinny Call Control Protocol) ve MGCP (Media Gateway Control Protocol) en bilinen protokollerdendir.

3.1.1. Veri Aktarma Protokolleri

Veri aktarım için kullanılan başlıca üç protokol RSVP (Kaynak Ayırma Protokolü), RTP (Gerçek Zaman Protokolü) ve RTCP (Gerçek Zaman Kontrol Protokolü) protokolleridir. RSVP kaynak ayırmak için; RTP gerçek zamanlı veri akışı için ve RTCP ise bu protokolün kontrolünü sağlamak amacı ile kullanılmaktadır.

3.2. VoIP Güvenlik Tehditleri

IP için varolan tüm güvenlik riskleri, VoIP için de tehdit unsuru olarak yer almaktadır. Bu tehdit unsurlarının yanında VoIP'e özel riskler de bulunmaktadır. VoIP için tehdit olarak gruplanabilecek riskler aşağıdaki gibidir [12]:

- ✓ Hizmeti engelleme (DoS- Denial of Service)
- ✓ Ortadaki adam saldırısı (Man-in-the-middle attack)
- ✓ Call Hijack
- ✓ Çağrı yönlendirme (Call redirect)
- ✓ Telekulak (Eavesdropping)
- ✓ Yanıltma (Spoofing)
- ✓ Tekrarlama saldırısı (replay)

4. Geleneksel Tedbirler

VoIP için nitelendirilebilecek güvenlik tedbirleri IP dünyası içerisinde VoIP'e özel olmayan diğer riskleri de barındırmaktadır. Bu sebepten ötürü IP ağı için alınması gereken güvenlik tedbirleri, VoIP güvenliği için de sağlanmalıdır.

Bir VoIP ağı için ses, çoklu ortam ve tüm veri paketleri aynı ağ içerisinde bulunmaktadır. Bu sebepten ötürü birbirlerinden etkilenmeleri olasıdır. Dolayısı ile veri iletiminin sağlandığı bir IP ağına yapılan saldırı, tüm ağda bulunan ses verilerine de zarar verecektir. Bu durum, ses ve veri trafiğinin birbirinden ayrılma tedbirini alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Tedbirin alınması için ses trafiğini ayrıştırarak ses ve veri trafiği ayrı LAN üzerinde sağlanması gerekmektedir. ACL (Access list) kullanımı ile ses ve veri VLAN (virtual LAN)ları arasındaki erişim limitlenmelidir.

VoIP ağında bulunan sunuculara istenmeyen kişilerin erişmesini engellemek amacıyla cihazlara telnet erişimi kısıtlanmalıdır.

VoIP ağının güvenliği için güvenlik duvarlarının (firewall) kullanımı önem arz etmektedir. VoIP oturumu oturumun kurulması sırasındaki sinyalleşme ve ses haberleşmesini taşıyan veri iletimi kısımlarından oluşmaktadır. Sinyalleşme kısmında, paketler kullanıcılar ile SIP proxy arasında gidip gelirken ses iletiminde paketler doğrudan uç terminaller (kullanıcılar) arasında iletilir. SIP kullanılan bir sinyalleşme kısmında genelde UDP/TCP 5060 portu kullanılmaktadır ve telekulak gibi saldırılara karşı savunmasızdır [13].

Ses verisinin iletildiği, uç noktalar arasında bulunan bağlantı için de aynı güvenlik açıkları söz konusudur. IP adreslerini gizlemek için IP adresi ve port değişimi sağlayan NAT (network address translation) kullanılabilir. NAT, IP paketlerini üçüncü katmanda değerlendirmektedir. Fakat VoIP protokollerinde IP adresi bilgisi beşinci katmanda gömülü olarak bulunmaktadır. Bu nedenle NAT uygulaması ile uyumsuzluk meydana gelmektedir. Çözüm olarak; VoIP uyumlu NAT cihazları ya da SBC (Session Border Controller) gibi ek bir cihaz kullanılarak uyumsuzluk ortadan kaldırılabilir.

DoS saldırılarına karşı, VoIP ağındaki sunucular için yedekleme mutlaka sağlanmalıdır. Bunun yanında ses ve sinyalleşme paketleri şifrenmelidir.

4.1. IPsec (IP Security)

IPsec(IP Security), çağrı kurulması ve kontrolü için kullanılan SIP mesajlarının ağ katmanında güvenliğinin sağlanmasında kullanılmaktadır[11]. IPsec, IETF tarafından geliştirilmiş, AH (Authentication Header) ve ESP (Encapsulating Security Payload) protokollerinin bütünleştirilmiş halidir. IPsec üzerinde iki güvenlik kipi bulunmaktadır. Ulaşım kipi üzerinde sadece veri şifrenmektedir. Tünel kipi ise ulaşım kipine göre daha güvenlidir. Bu kipte ise hem veri hem de paket başlığı şifrenmektedir.

IPsec kullanımı ile asıllama, mesaj bütünlüğü, tekrarlamaya saldırısına karşı koruma ve ulaşım kontrolü sağlanabilmektedir. Bununla birlikte ESP kullanımı sayesinde verinin şifrenmesi ve kişisel gizlilik ek olarak sağlanabilmektedir. IPsec ile SIP mesajlaşmasının güvenliği sağlanması ise paket başlığına ekstra yük getirmektedir.

4.2. TLS (Transport Layer Security)

TLS, RFC 2246'da tanımlanan ve SIP mesajlarının ulaşım katmanında güvenliğinin sağlanması için kullanılan bir protokoldür. TLS, güvenli oturumların kurulmasında önemli bir rol oynamaktadır. SIP oturumunun kurulması için gerekli istemci/sunucu iletişimi, TLS veya SSL bağlantısı kurulması ile sağlanmaktadır.

TLS protokolünde iki katman bulunmaktadır:

- ✓ TLS record protocol-simetrik anahtarlı şifreleme kullanır.
- ✓ TLS handshake protocol-sunucu ve istemci arasında asıllama ve şifreleme algoritmasına, kullanılacak anahtara karar verilmesi.

SIP mesajı üzerinde bulunan https benzeri bir uzantı bulunmaktadır. Bu uzantı TLS kullanır ve SIPS URI uzantısı olarak isimlendirilmektedir. Eğer SIPS URI isteğindeki route üzerinde TLS bağlantısı varsa, istek kabul edilir, aksi halde reddedilir.

TLS, bağlantılı bir ulaşım katmanı protokolünün kullanımını gerektirdiğinden ötürü TCP ile kullanılırken; UDP ile kullanılamaz. TLS'in UDP-tabanlı SIP sinyalleşmesinde kullanılması mümkün değildir [12].

4.3. SRTP (Secure Real-Time Transport Protocol)

Bu bölüme kadar anlatılan güvenlik önlemleri, IP ağı için kullanılmaktadır. SRTP ise VoIP için geliştirilmiş, VoIP'de medya paketlerinin aktarılması için kullanılan bir protokoldür

RTP protokolü medya verilerinin gerçek zamanlı olarak veri iletimi için kullanılan bir protokoldür. SRTP protokolü ise RTP protokolünün güvenliğini arttırmak için kullanılmaktadır. Bu protokol sayesinde RTP protokolü paketlerinde gizlilik, asıllama, tekrarlamaya saldırılarına karşı güvenlik önlemleri arttırmış olmaktadır. SRTP, RTP protokollerine koruma özelliği eklemesinin yanında şifreleme gibi özelliklerini tek bir yapı içinde toplayıp yüksek throughput sağlayarak, RTP paketleri için ek yükleri de minimize etmektedir. RTP yığın uygulamasından ve seçilen anahtar yönetim algoritması ile SRTP protokolünün bağımlılığı bulunmamaktadır. SRTP protokollerinde anahtar yönetimi için MIKEY (Multimedia Internet Keying) tercih edilmesinin nedeni bu anahtar yönetim biçiminin SRTP protokolü ile çalışmak için geliştirilmiş olmasıdır. Fakat bu anahtar yönetim biçimini tercih etmek şart değildir.

Bunun yanında SRTP protokolü için asıllama, şifreleme gibi özelliklerin kullanımı zorunlu değildir. SRTP'nin RTP ile karşılaştırıldığında SRTP'nin sağladığı birçok kuvvetli avantaj bulunmaktadır:

- ✓ RTP ve RTCP için payload şifrenmesi ile sağlanan güvenilirlik
- ✓ Tekrarlamaya saldırısına karşı koruma ile birlikte, RTP ve RTCP için mesaj bütünlüğü sağlanması

- ✓ Oturum anahtarlarını periyodik olarak yenilenmesi yeteneği ile belli bir anahtar tarafından üretilmiş şifreli metin miktarını azaltmak
- ✓ Güvenli bir oturum anahtarı üretme algoritması (her iki uçta pseudo-random fonksiyon ile)
- ✓ Unicast ve Multicast RTP uygulamaları için güvenlik

5. Hadoop Üzerinden Önerilen Güvenlik Mimarisi

VoIP tabanlı iletişimin temelinde gerçek zamanlı (real-time) veriler bulunmaktadır. Bu sebeple iletişimin doğru bir şekilde gerçekleşmesi için güvenliğe ilişkin kararların hızlı verilmesi gerekmektedir.

Küçük veya orta ölçekli kurum ve işletmelerde dağıtık ağ yapısı yerine tek bir ağ yapısı ile rahatlıkla sağlanabilmektedir. Ancak büyük ölçekli kurumlar, işletmeler veya VoIP servis sağlayıcılarında ağ yapısı gereği anlık olarak ortaya çıkan veri VoIP paketleri açısından büyük veriyi oluşturmaktadır. Buna bağlı olarak kısa sürede işlenmesi gereken büyük veri geleneksel çözüm yolları üzerinden güvenlik sağlanması zorlaşmaktadır. Tam bu noktada bu çalışmada büyük veri teknolojisi olarak Hadoop mimari kullanılarak önerilen yapı ile çözüm sunulmaktadır.

Şekil 3'te çeşitli dağıtık mimariler kullanılarak büyük verinin işlenmesi gösterilmiştir.

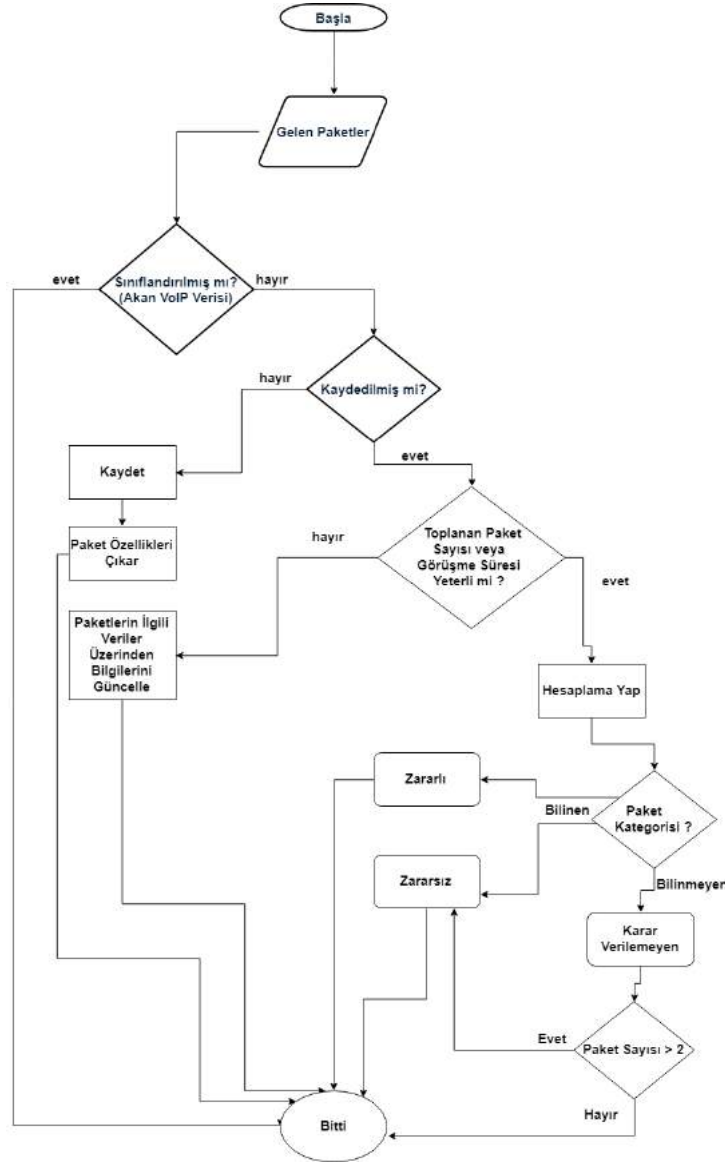


Şekil 3. Gerçek Zamanlı VoIP Büyük Verisinin Dağıtık Mimari ile İşlenmesi

VoIP paketlerinin tespiti, önerilen mimaride önemli bir husustur. VoIP güvenlik tedbirlerinin servis sağlayıcılar gibi veri trafiğinin yoğun olduğu sistemlerde uygulanabilmesi sağlanmalıdır. Önerilen algoritmada Gelen VoIP Paketinin Tespit Akış Diyagramı gösterilmektedir. Öncelikle gelen paketin sınıflandırılma durumu kontrol edilmektedir. Eğer paket sınıflandırılmamışsa günlükler incelenir ve eğer günlük kaydı yoksa sisteme bilgi girişi yapılmaktadır. Kaydedilmemiş paketlerin sayısal kontrolü yapılmaktadır.

Bu aşamadan sonra yeterli paket yoksa, yeterli paket sayısı oluşana kadar ilgili veri akışına ilişkin paketler toplanmaya devam etmektedir. Yeterli paket sayısına ulaşıncaya, sıradaki adım olan Paketin VoIP yada non-VoIP durumu belirlenir. Karar verilememesi durumunda paket non-VoIP olarak sınıflandırılır. VoIP olarak sınıflandırılan paketlerin sistemde öncelikli olarak işlem görmesi sağlanır. Böylece VoIP güvenlik tedbirleri uygulanmış olacaktır.

Şekil 4'te önerilen güvenlik mimarisinin akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4. Gelen VoIP Paketinin Tespit Akış Diyagramı.

6. Sonuç ve Tartışma

VoIP, sistem maliyeti açısından tasarruf sağlayan bir mantık taşıdığından ötürü popülaritesi yüksek olan ancak halen gelişmekte olan bir teknolojidir. Özellikle güvenlik konusu üzerindeki çalışmalar, VoIP teknolojisi içerisinde henüz başlangıç seviyesindedir. Literatüre bakıldığında VoIP konusunda güvenlik açıkları teorik olarak ortaya konmuş gözükmektedir. Bunun yanında ortaya konan güvenlik risklerinin pratiğe aktarılması zordur. Bu durumun nedeni güvenlik açıklarını kullanabilecek saldırganların VoIP teknolojisi üzerindeki uzmanlık düzeyinin düşük olmasının yanında VoIP test ortamının sınırlı olmasıdır. VoIP teknolojisinin kullanılabilirliği ve bu teknolojiye olan ilgi arttıkça risk daha fazlalaşacak; saldırganlar tarafından daha çekici hale gelecektir. Bunun sonucu olarak ilgili teknolojiye ait güvenlik risklerinin ve saldırı türlerinin de çoğalacağı öngörülmektedir. VoIP alanında yapılan çalışmaların birçoğu VoIP'ye özelleştirilmemiş; IP güvenliği üzerine kullanılmakta olan yöntemlerdir. Bu çalışmalar dışında VoIP üzerinde sinyalleşme ile birlikte medya paketlerinin güvenliğinin sağlanması adına çalışmalar da mevcuttur.

Büyük veri teknolojisi olan Hadoop mimarisinin dağıtık ağ yapısı üzerinden hızlı veri işleme ile güvenliği ön plana çıkartabilecek bir sisteme sahiptir. Hadoop mimarisinin doğru planlandığında ağ güvenliğine katkısı birden çoktur. Veriler üzerinde ağı izole etmesi, bulut teknolojisini kullanması, senkron ve kopyalama mimarisine sahip olması ve yedekli çalışması başlıca güvenlik destekleyici sebeplerdir.

Bu çalışmada önerilen güvenlik mimarisi sayesinde gelen paket sınıflandırılarak öncelikli işlem yapılması sağlanacak; non-VoIP olarak sınıflandırılması yapılan paketler ise işleme alınmayacaktır. Bu sayede VoIP'e özelleştirilmiş bir güvenlik tedbiri uygulanmış olacaktır.

Kaynakça

- [1] Storey, V. C., & Song, I. Y. (2017). Big data technologies and management: What conceptual modeling can do. *Data & Knowledge Engineering*, 108, 50-67.
- [2] Ge, M., Bangui, H., & Buhnova, B. (2018). Big Data for Internet of Things: A Survey. *Future Generation Computer Systems*.
- [3] Castiglione, A., Colace, F., Moscato, V., & Palmieri, F. (2018). CHIS: A big data infrastructure to manage digital cultural items. *Future Generation Computer Systems*, 86, 1134-1145.
- [4] Canito, J., Ramos, P., Moro, S., & Rita, P. (2018). Unfolding the relations between companies and technologies under the Big Data umbrella. *Computers in Industry*, 99, 1-8.
- [5] Khan, S., Liu, X., Shakil, K. A., & Alam, M. (2017). A survey on scholarly data: From big data perspective. *Information Processing & Management*, 53(4), 923-944.
- [6] Oussous, A., Benjelloun, F. Z., Lahcen, A. A., & Belfkih, S. (2017). Big Data technologies: A survey. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*.
- [7] Shadroo, S., & Rahmani, A. M. (2018). Systematic survey of big data and data mining in internet of things. *Computer Networks*, 139, 19-47.
- [8] Rani, S., Ahmed, S. H., Talwar, R., & Malhotra, J. (2017). Can Sensors Collect Big Data? An Energy-Efficient Big Data Gathering Algorithm for a WSN. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(4), 1961-1968.
- [9] Gökşen, Y., & Hakan, A. Ş. A. N. (2015). Veri Büyüklüklerinin Veritabanı Yönetim Sistemlerinde Meydana Getirdiği Değişim: NOSQL. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 8(3), 125.
- [10] Zheng, Y. (2015). Methodologies for Cross-Domain Data Fusion: An Overview. *IEEE Trans. Big Data*, 1(1), 16-34.
- [11] Dexi, W., Jiang, Y., Song, H. Verification of implementations of cryptographic hash functions. *IEEE Access*, 2017, p:7816 - 7825.
- [12] Yavaş, S., Orencik, B., "VoIP Güvenliği", İTÜ Bilgisayar Bilimleri Ders Notları
- [13] Advantages and Disadvantages of Asymmetric and Symmetric Cryptosystems. [cited 2017 29 Dec]; Available from: http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/paper_1_2264_649.pdf



Farklı Partikül Boyutlarındaki Enginar Lifi İlavesinin Köfte Kalitesi Üzerine Etkisi

Hülya Atasoy¹, Kübra Özkan¹, Ayşe Karadağ^{1*}, Osman Sağdıç¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metersalüji Fakültesi, Gıda Mühendisliği, 34210, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0321-355X; 0000-0003-0580-5804; 0000-0001-8615-7321; 0000-0002-2063-1462)

(İlk Geliş Tarihi 25 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 1 Haziran 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.544132)

ATIF/REFERENCE: Atasoy, H., Özkan, K., Karadağ, A., & Sağdıç, O. (2019). Farklı Partikül Boyutlarındaki Enginar Lifi İlavesinin Köfte Kalitesi Üzerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 275-282.

Öz

Enginar sebze işleme tesislerinde, tüm bitkinin yaklaşık %70'i, yaprak, sap, çiçek gibi kısımları katı atık olarak açığa çıkmaktadır. Bu atıklar genellikle hayvan yemi üretiminde ya da gübre amacıyla kullanılmaktadır. Ancak, içerdigi zengin lif miktarı açısından bu atık kısmının, diyet lifi olarak kullanılması potansiyeli mevcuttur. Çalışmamızda, enginar atıklarından elde edilen lif, %3.38 protein, %0.34 yağ, %90 toplam diyet lif ve 6.98 pH değerine sahiptir. Üretilen enginar lifi, boyutun fizikokimyasal özellikler üzerine etkilerini incelemek için iki farklı boyutta (150 ve 450 µm) hazırlanmıştır. Lifi, su ve yağ bağlama kapasitesinin partikül boyutunun azalması ile birlikte azaldığı gözlenmiştir. Köfte örneklerine, iki farklı konsantrasyonda ve iki farklı boyutta eklenen enginar lifinin, örneklerin fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi incelenmiş ve ayrıca sonuçlar, lif eklenmeyen kontrol köfte örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Köfte örneklerinde, ağırlık kaybındaki azalmaya eklenen lifin miktarının etkisi, lifin boyutuna göre farklılık göstermiştir. Düşük boyutlu ve az miktarda lif eklenen örnek hariç, kontrol örneğindeki ağırlık kaybı, lif eklenen örneklerden daha fazla olmuştur. Çapta azalma üzerine ise, lif miktarının etkisi tek başına önemli olmazken; lif boyutunun etkisi ise, eklenen lifin miktarına göre farklılık göstermiştir. Çapta azalmanın büyük boyutlu lif kullanıldığı zaman daha az olduğu, ancak köftedeki lif miktarının artırılmasıyla bu etkinin kontrole göre önemli olmadığı görülmüştür. Pişmemiş köftelerin sertlik değeri üzerinde, lif miktarının etkisi yalnızca büyük boyutlu lif eklenen örneklerde gözlenmiş, ancak pişirme sonrası bu farklılık da önemli olmamıştır. Yapışkanlık değeri açısından, pişmemiş köftelerde lif miktarı ve boyutla interaksyonu önemli olmuştur, yapışkanlık değeri düşük boyutlu lif kullanımında lif miktarı arttıkça azalmış, ancak yüksek boyutlu lif kullanıldığı zaman miktarın etkisi önemli olmamıştır. Örnekler, pişirildiği zaman ise, her iki boyutta da lif miktarının artması ile yapışkanlık azalmıştır. Lif eklenen pişmiş köfte örneklerinde duyuşal ve tekstürel açıdan lif eklenmeyen kontrol köfteleri ile karşılaştırıldığı zaman, önemli düzeyde farklar belirlenmemiştir. Bu sonuçlar, diyet liflerinin sağlık açısından faydaları ve köftelerdeki olumlu etkileri göz önüne alındığında, et ürünlerinde kullanımının yaygınlaştırılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Enginar lifi, Köfte, Lif boyutu, Tekstürel değişim

The effects of artichoke fiber addition with different sizes on the quality of meatballs

Abstract

The discarded parts of globe artichoke at harvesting and after industrial processing consist of leaves, stems, and bracts. Those by-products can represent up to 70% by weight of the total biomass, are disposed of as waste. Generally, they are used for composting or in some cases as animal feed. Due to the high fiber content, they carry enormous potential as a source to recover dietary fiber and added value products that can be used in the food industry. In this study, the artichoke fiber, obtained from industrial by-products, had 90% total dietary fiber, 3.38% protein, 0.34% fat content with a pH value of 6.98. Artichoke fiber with two different particles size (150 and

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metersalüji Fakültesi, Gıda Mühendisliği, İstanbul (ORCID: 0000-0001-8615-7321), karadaga@yildiz.edu.tr

450 µm) was used to evaluate the effects of size on physicochemical properties. Water and oil holding capacities of fiber were reduced by the decrease in the particle size. Artichoke fiber with two different sizes at two different concentration was added to meatballs, and the change in physical, chemical, textural and sensory properties was determined, and they were compared to the control meatballs that have no fiber in its formulation. The weight loss reduction in meatballs differed with the addition of fiber depending on its particle size. The weight loss in the control sample was higher than the fiber added meatballs except for the sample prepared by less amount of fiber with a smaller particle size. The amount of fiber by itself was not found as significant on the meatball size, however, its interaction with particle size was important. The reduction of meatball size was lower when fiber with larger particle size was added, yet increasing the amount of fiber this difference was not important compared to the control meatballs. The effects of fiber addition on the hardness values of uncooked meatballs were observed only when larger size fiber was added, however, this difference was lost after cooking. The amount of fiber and its interaction with size was important on the stickiness value of uncooked meatballs, it was decreased when smaller fiber particles added at higher concentration, but when larger fiber particles were added the fiber concentration was not important. When the meatballs were cooked, the stickiness was reduced by increasing the fiber concentration at both particle size. Compare to the control meatballs, the cooked meatballs with added fiber did not show important differences in terms of textural and sensory properties. Therefore considering the health benefits of having dietary fibers in the formulation, and quality of meatballs added with fiber, the artichoke fibers can be used in meat products as functional food additives.

Keywords: Artichoke fiber, Meatball, Particle size, Textural Properties

1. Giriş

Bugüne kadar yapılan araştırmalar; lif alımının obezite, kardiyovasküler hastalıklar, kolon kanseri ve diğer bazı kronik hastalıkların risklerini azaltarak daha sağlıklı bir yaşam tarzını desteklediği ortaya koymaktadır (Verma, & Banerjee, 2010). Diyet lifi, insan sağlığı ve ürün kalitesi üzerine olumlu etkilerine bağlı olarak önemli bir gıda bileşenidir. Ayrıca diyet lifleri gıda ürünlerinde su tutma kapasitesi, yağ bağlama kapasitesi, emülsifikasyon ve jel oluşumu gibi bazı fonksiyonel özellikleri arttırmak için kullanılmaktadır (Elleuch ve ark., 2011). Tekstür özelliklerini modifiye edebilir, pişirme verimliliğini arttırabilir, yağ ikame maddesi olarak da kullanılabilirler (Choi ve ark., 2010 ve Fernandez-Lopez ve ark., 2010).

Enginar, diyet lif bakımından zengin ve nişasta yokluğunda polisakkarit rezervi olarak tanımlanan *Compositae* familyasından bir bitkidir. Taze, donuk ya da konserve gıda olarak satışı bulunan enginar bitkisinin yenilebilir kısmı ekonomik değeri olan bir sebze türüdür. Enginar sebzesi işleme tesislerinde, tüm bitkinin yaklaşık %70'i katı atık olarak açığa çıkmaktadır. Bu atıklar genellikle hayvan yemi üretiminde ya da gübre amacıyla doğal atık olarak kullanılmaktadır. Proses atıkları olan bu kısımların polifenoller, fruktooligosakkaritler, lifler ve mineraller gibi pekçok biyoaktif bileşenler açısından zengin içeriğe sahip olduğu belirtilmiştir (Machado ve ark., 2015). Özellikle enginarın kalbi, iyi bir lif kaynağıdır ve yüksek verimlilikle elde edilebilmektedir. Enginar bitkisi, depo organellerinde major karbonhidrat rezervi olarak inülin sentezler, biriktirir. İnülin molekülü zincir uzunluğu oldukça fazla olan, bitkilerde en yüksek polimerizasyon derecesine sahip, ve suda çözünebilen bir diyet lifidir. İnülin aynı zamanda düşük kalorili bir lif olduğundan; yağı azaltılmış gıdaların üretiminde kullanılmaya da olanak sağlamaktadır (Hellwege ve ark., 2000).

Et biyolojik değeri yüksek protein, esansiyel yağ asitleri, vitaminler ve mineral içeriği sebebiyle beslenme açısından birincil önceliğe sahiptir. Et ürünleri, yüksek oranda doymuş yağ asitleri ve kolesterol içermektedir ve diyet lif açısından fakirdir. Ayrıca, et ve et ürünlerini işleme aşamalarında, ürünlere yüksek oranda tuz ve ilave yağ ilave edilmektedir (Talukder, 2013). Sağlıklı yaşam ve düşük kalorili gıdaların üretimi için, gıda üreticileri düşük yağ içerikli et ve et ürünlerinin üretimine önem vermektedir (Kılınççeker & Kurt, 2018). Bu amaçla, diyet lifinin düşük yağ içerikli et ve et ürünlerinde kullanımı ile, ürünlerde pişirme kayıplarını azaltma, su tutma kapasitesini arttırma, depolama stabilitesini ve tekstürel özellikleri olumlu yönde arttırma gibi hem fonksiyonel özellikler açısından iyileştirme, hem de maliyetleri düşürme gibi sonuçlar hedeflenmektedir (Ekici & Ercoşkun, 2007).

Farklı diyet lifi kaynakları et ürünlerinde, birlikte veya tek başlarına kullanılabilirler gibi, farklı miktarlarda ve partikül boyutlarında kullanılabilirler (Han & Bertram, 2017). Bilgimiz dahilinde, enginar lifinin, geleneksel köftelere eklenmesi ile ilgili bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı, farklı boyutlarda ve miktarlarda enginar lifinin geleneksel köfte ürününde kullanılması, lifin su tutma, yağ tutma kapasitelerinin belirlenmesi, köftelerdeki ağırlık ve çap değişimleri, tekstürel ve duyuşal özellikleri üzerine olan etkilerinin incelenmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada köfte örnekleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Teknolojisi Laboratuvarında üretilmiştir. Kıyma yerel bir kasaptan hijyenik şartlarda temin edilmiştir. Köfte için kullanılan kıyma, Balıkesir yöresine ait ve dananın ön kol kısmından hazırlanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan enginar lifi, İstanbul'daki Baharot Lezzet Karışımları Gıda San. ve Tic. A.Ş.'de standart olarak üretilmiştir.

2.2. Metod

2.2.1. Enginar Lifinin Üretimi

Balıkesir yöresinde yetişen ve konservecilığe uygun Bayrampaşa cinsi enginar bitkisinin önce orta kısımda bulunan tablası konserve üretimi için alınmış ve sonra geriye kalan yaprak ve sap kısımları hasat süresinde toplanmış – 40°C de şoklandıktan sonra, – 18°C de muhafaza edilmiştir. Üretim için, ürün +4 °C' ye alınıp çözündürülmüş ve mikrobiyal yükü azaltmak için dezenfektanlı su ile yıkanmıştır. Enginarındaki polifenol oksidaz enziminin inaktivasyonu için 100°C'de su içerisinde 9 dk bekletilmiş ve sonra doğrayıcıdan geçirilerek parçalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Rengin açılması ve istenmeyen bileşenlerin uzaklaştırılması için suda yıkama işlemi yapılmıştır. Fazla su presleme yapılarak uzaklaştırılmış ve akışkan yataklı fırınla 100 °C'de, son ürün nemi %10'un altında olacak şekilde kurutma yapılmıştır. Kurutulmuş ürün, bıçaklı değirmende istenilen elek boyutuna göre öğütülmüş olup, ışık ve nem geçirmeyen ambalajlar ile paketlenmiştir. Elek makinasında (Fritsch GmbH, Almanya), farklı partikül boyutlarında enginar lifleri elde edilmiştir. Titreşimli elekler ile, 150 ve 450 µm boyutlu lif üretilmesi hedeflenmiş, uygun boyutlu eleklerden geçirilen ürünün boyutları, Master Sizer (Malvern Mastersizer 2000, İngiltere) cihazı ile ölçülmüştür.

2.2.2. Enginar Lifinde Su Tutma ve Yağ Tutma Kapasitelerinin Belirlenmesi

Farklı boyuttaki enginar lifi örnekleri nem içeriklerinin düşürülmesi amacıyla 6 saat süreyle 100°C etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuştur. Kurutulan örneklerden 50 ml'lik santrifüj tüpüne 1 ±0.01 g alınmış, 30 ml distile su eklenerek 6 saat oda sıcaklığında bekletilmiş ve örnekler 14000 g de 1 saat santrifüj edilmiştir (Thermo Scientific Heraeus, Multifuge X3 FR, Almanya). Sıvı faz tartılarak su tutma kapasitesi; örnek miktarı (g) başına tutulan su miktarı (g) olarak ifade edilmiştir. Yağ tutma kapasitesi için aynı şekilde etüvde kurutulan enginar liflerinden 50 ml'lik santrifüj tüpüne alınan 4 ± 0.01 g örnek, 24 ml mısır özü yağı ile 30 dk vorteks karıştırıcıda 1800 rpm'de karıştırılmıştır. Karışım 1600 g'de 25 dk santrifüjlenerek sıvı kısmın hacmi ölçülmüştür. Yağ bağlama kapasitesi, örnek miktarı (g) başına tutulan yağ miktarı (g) olarak ifade edilmiştir.

2.2.3. Köfte Ürününün Hazırlanması ve Pişirilmesi

Kullanılan dana kıyması %20.89 protein, %14.81 yağ, %64.21 rutubet, %0.88 kül ve 5.50 pH değerine sahiptir ve içine kütlece %1.1 tuz, %0.47 pulbiber, %0.67 tatlı toz biber, %0.47 karabiber, %0.07 kekik, %0.27 kimyon, %0.27 sarımsak, %0.13 maydonoz ve %0.6 soğandan oluşan baharat karışımı, %3 sıvı yağ (ayçiçek yağı) ve %15 su ilave edilerek geleneksel köfte hazırlanmıştır. Daha sonra köfte hamuruna sırasıyla %0.4 ve %2.4 oranlarında farklı boyutlardaki (150 ve 450µm) enginar lifleri deneme noktalarına uygun şekilde karıştırılarak yarım saat el ile yoğurulmuştur. Kontrol örneği ise lif ilavesi yapılmadan diğer örneklerle ilave edilen oranda sadece baharat karışımı, sıvı yağ ve su eklenerek yoğurulmuştur. Köfteler 7.5±0.5 cm çapında ve üniform büyüklükte ve şekillendirici aparat ile köftelerin ağırlıkları 57.5±2.5 g olacak şekilde ayarlanmıştır. 220 °C de önceden ısıtılmış fırında 10 dakika olacak şekilde tüm köfteler pişirilmiştir.

2.2.4. Köfte Örneklerinde Ağırlık ve Çap Belirlenmesi, pH tespiti

Köfte örneklerinin pişirme öncesinde tartımı yapılmış, pişirme işlemi bittikten sonrasında, ağırlıkları tekrar ölçülmüştür. Çap değişimi için; aynı şekilde tüm örneklerin pişirme öncesinde çapı ölçülmüş, pişirme işlemi bittikten sonra tekrar çapı ölçülerek % çapta küçülme hesaplanmıştır. pH tespiti için; çiğ ve pişmiş örneklerin her birinden 10 g tartılıp, üzerine 100 ml distile su eklendikten sonra homojenizatörde 1 dakika homojenize edilmiştir. Standart tampon çözeltileri ile pH metre (Mettler Toledo- S230 Seven Compact, İsviçre) kalibre edildikten sonra pH metre elektrodu 22±2°C'deki beherin içindeki numuneye direkt daldırılarak ölçülmüştür.

2.2.5. Köfte Örneklerinde Su Oranı ve Yağ Tayini

Çiğ ve pişmiş köfte örneklerin her birinden 5 g alınıp kurutma kaplarına konulmuştur. Daha sonra kaplar, 105±2 °C'lik etüv (Jeio Tech OF-12G Korea) içerisine yerleştirilmiş, örnekler sabit tartıma gelinceye kadar yaklaşık 20 saat kurutulmuş ve desikatörde bekletilip, tartım alınarak nem içerikleri belirlenmiştir. Örneklerdeki yağ miktarının tespitinde Soxhlet yöntemi kullanılmıştır. Çiğ ve pişmiş örneklerin her birinden 5'er g alınarak cihazın (BUCHI Extraction Unit E-816 SOX Switzerland) ekstraksiyon kartuşuna yerleştirilmiştir. Çözücü olarak dietileter ile yaklaşık 4 saat süreyle, aynı cihazda ekstrakte ve kurutma aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.6. Köfte Örneklerinde Renk ve Tekstür Profil Analizleri (TPA)

Çiğ ve pişmiş köfte örneklerinin her biri renk ölçümleri kromametre Konica Minolta Chroma Meter CR-400, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. L* (açıklık-koyuluk), a* (± kırmızı-yeşil) ve b* (± sarı-mavi) renk koordineleri CIE Lab renk skalasına göre ve doğrudan örneklerin 3 farklı noktasından okuma yapılmıştır. Tekstür profil analizi ise; TA-HD PLUS (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, the UK) marka TPA cihazında Alüminyum p/36R probu kullanılarak pişmiş köfte örneklerinin her bir grubunda ölçülmüştür. Sertlik, yapışkanlık, esneklik, iç yapışkanlık, sakızimsılık, elastikiyet, çignenebilirlik özellikleri değerlendirildi.

2.2.7. Köfte Örneklerinde Duyusal Analiz

Farklı konsantrasyonda ve farklı partikül boyutunda enginar lifi eklenen 4 adet köfte örneği, kontrol grubuna göre panelistler tarafından kıyaslanmıştır. Köfte örnekleri önceden ısıtılmış (220 °C) elektrikli fırında yaklaşık 10 dakika süre ile pişirilmiştir ve ardından

duyusal analiz gerçekleştirilmiştir. Panelistler, köftelerdeki koku, renk, tat ve aroma, sululuk, sertlik, çiğnenebilirlik ve genel beğeni özellikleri değerlendirmiştir.

2.2.8. İstatiksel Analiz

Köftelere iki farklı konsantrasyonda (%0.4 ve %2.4) ve iki farklı partikül boyutunda (150 ve 450 µm) enginar lifi eklenmiş ve özelliklerindeki değişim iki yönlü ANOVA analizi ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kontrol örneği ile lif eklenen örnekler arasındaki farklılık ise tek yönlü ANOVA analizi ile değerlendirilmiştir. Örnekler arasındaki farklılık ise TUKEY analizi ile çoklu karşılaştırma testi ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, SPSS programı (SPSS 17.0, USA) kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Farklı boyuttaki enginar liflerinin su ve yağ tutma kapasiteleri

465.59 µm ve 153.67 (D_{4,3}) boyutlarında partikül boyutuna sahip enginar liflerinin, su tutma kapasitesi boyuttaki azalma ile beraber %10.03±0.01'ten 8.96±0.02'ye azalırken, yağ tutma kapasitesi de %4.15±0.02'den %3.38±0.01'e azalmıştır. Benzer sonuçlar farklı hammaddelerden elde edilen liflerde gözlenmiştir. (Premavalli, 2010) kabak ve turp liflerinde, (Ye, Tao, Liu, Zou, & Zhao, 2015) turuncuğil posasından elde edilen liflerde, (Zhang ve ark., 2012) mantar liflerinde boyut azaldıkça su bağlama ve yağ tutma kapasitesinin azaldığını görmüşlerdir. Yapıları daha kaba ve iri olan büyük boyutlu partiküllerin, santrifüj işlemi sonrasında daha düşük boyutlu partiküllere göre birbirlerine daha zayıf bağlandıklarından, daha fazla su ve yağı tutabildiği belirtilmektedir. Çeşitli gıdaların vizkozite ve tekstürel özelliklerini iyileştirilmesi, sinerisisin (su salma) engellenmesi amacıyla kullanılabilirlikleri ve ayrıca sindirim sonrası fekal hacmin artması ile kabızlık ve bağırsak kanseri riskinin azalmasında etkili olduğundan dolayı lif örneklerinde su bağlama kapasitesinin yüksek olması istenir.

Yağ tutma kapasitesinin yüksek olması, et ürünleri gibi gıdalarda örneğin pişme sırasında normalde kaybolan yağın üründe tutulmasını sağlayarak lezzetin artırılmasında fayda sağlayabileceği gibi, yağ-su emülsiyonlarında stabilitenin artmasında, reolojik özelliklerin iyileştirilmesinde önem taşır. Bundan dolayı, yağı azaltılmış ürünlerde yağ yerine kısmen lif kullanılması ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmaların sayısında artış gözlenmektedir (Tomaschunas ve ark., 2013) (Ktari, Smaoui, Trabelsi, Nasri, & Ben Salah, 2014) (Henning, Tshalibe, & Hoffman, 2016). Enginar lifinin yüzey alanı küçüldükçe yani lifin daha az öğütülmesi ile su ve yağ absorpsiyonu küçük boyutlu liflere göre daha yüksek elde edilmiştir. Yapılan bir çalışmada ise 53 µm, 105 µm ve 210 µm boyutlarında havuç lifi elde edilmiş ve bu boyutlardaki liflerin su tutma kapasitesi, suda şişme kapasitesi ve tutulan suyu bırakma kapasitesi saptanmıştır. Sonuç olarak, su tutma kapasitesi havuç lifi boyutunun artması ile artmıştır ve 105 ile 210 µm boyutundaki liflerin su tutma kapasiteleri benzer değere sahiptir. Suda şişme kapasitesi de aynı şekilde lif boyutu arttıkça artmıştır. Tutulan suyu bırakma kapasitesi ise 53 µm boyutundaki havuç lifinde en düşük değerde iken boyut artışı ile tutulan suyu bırakma kapasitesi artmaktadır (Enclada ve ark., 2015).

3.2. Enginar lifinin köftelerin kalitesi üzerine etkileri

3.2.1. Köfte örneklerinin ağırlıkları, çapları ve pH değerlerindeki değişim

Elde edilen enginar lifinin protein, yağ, diyet lif ve pH değerleri sırasıyla %3.38, %0.34, %90 ve 6.98 şeklindedir. Köfte hazırlanmasında kullanılan dana kıyması %64.21 su, %20.89 protein, %14.81 protein ve %0.88 kül içeriğine sahip olup, pH değeri 5.50 dir. Köftelere iki farklı konsantrasyonda (% 0.4 ve %2.4) iki farklı partikül boyutunda (150 ve 450 µm) enginar lifi eklenmiş, pişirme sonrası köftelerin ağırlık ve boyutundaki değişim, Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca kontrol örneği olarak hiç lif eklenmeyen köfteler hazırlanmış ve aynı ölçümler bu örneklerde de gerçekleştirilmiştir. İki yönlü ANOVA analizi sonuçlarına göre ağırlık kaybı üzerine lif miktarı, lif boyutu ve bu değişkenlerin interaksiyonu önemli olmaktadır (p<0.05), diğer bir deyişle ağırlık kaybındaki azalmaya lif miktarının etkisi, lifin boyutuna göre farklılık göstermektedir. Düşük boyutta lif eklendiği zaman, lif miktarı arttıkça ağırlık kaybındaki azalma önemli olurken, yüksek boyutta lif eklendiğinde ise lif miktarının oranı önemli olmamıştır. Kontrol örneğinin ağırlık kaybının ise düşük boyutlu ve düşük miktarda lif eklenerek hazırlanan köfteler hariç diğerlerinden daha fazla olduğu gözlenmiştir. Çap azalması üzerine ise, lif miktarının etkisi tek başına önemli değil iken, lif boyutu ve lif miktarının interaksiyonu ve lif boyutu önemlidir (p<0.05), diğer bir deyişle çap azalmasına boyutun etkisi kullanılan lifin konsantrasyonuna göre farklılık göstermektedir. Kontrol örneğinde çapta azalmanın sadece yüksek boyutlu ve düşük miktarda lif eklenen örnekten farklı olduğu görülmektedir. Pişirme sonrası ağırlık kaybı ve çapta azalma, köfte yapısından yağın ayrılması ve suyun dışarı salınması ile ilgili olduğundan, lif eklenen köftelerde bu değerler, lifin su bağlama ve yağ tutma kapasitesi ile ilişkilidir (Talukder, 2015). Lif eklenmesi ile köfte yapısı daha sıkı olmuş ve pişirme sırasında etten açığa çıkan su, lif tarafından absorbe edildiği için çapta küçülmeler ve ağırlık kaybı daha az görülmektedir. Örneklerimizde de, eklenen lifin miktarı arttıkça daha az ağırlık kaybı gözlenmiş, ayrıca aynı lif miktarında (%0.4) daha iri ve kaba olan büyük boyutlu lif (450µm) kullanıldığında, ağırlık kaybının kontrole ve daha küçük boyutlu life (150µm) göre daha az olduğu görülmektedir. Çapta azalmanın da yine büyük boyutlu lif kullanıldığı zaman daha az olduğu, ancak köftedeki lif miktarının artmasıyla bu etkinin kontrole göre önemli olmadığı görülmektedir.

Enginar lifinin (pH=6.98) eklenmesi köftelerin pH değerinde artışa sebep olmuştur ve bu artış en fazla en yüksek miktarda (%2.4) ve en büyük boyutlu (450µm) eklenen liflerle hazırlanan köftelerde gözlenmiştir. Benzer şekilde (Yılmaz & Dağlıoğlu, 2003) yulaf kepeği ekleyerek hazırladıkları köftelerin pH sında artış gözlerken, domates, pancar lifi kullanılarak hazırlanan et ürünlerinde ise

kullanılan lifin asidik özelliğinden dolayı pH değerlerinde azalma gözlenmiştir (Cava, Ladero, Cantero, & Rosario Ramírez, 2012). Pişirme sırasında meydana gelen protein denatürasyonu, elektriksel yüklerindeki değişim ve su kaybından dolayı, genelde et ürünlerinin pH değerlerinde artış gözlenmektedir. Pişmeye bağlı pH artışı, yüksek miktarda ve büyük boyutlu lif eklenen köfteler hariç diğer tüm örneklerde gözlenmiştir.

Tablo 1. Pişirme sonrası, köftelerin ağırlıkları, çaplarındaki ve pH değerlerinde değişim

Lif Boyutu (µm)	Lif Miktarı (%)	Ağırlık Kaybı (%)	Çap Azalması (%)	pH	
				çiğ	pişmiş
150	0.4	35.14±1.23 ^{aA}	18.99±2.42 ^{aA}	5.64±0.01 ^{aAx}	6.36±0.01 ^{aAx}
	2.4	25.90±1.33 ^{bAx}	16.53±2.37 ^{aA}	5.58±0.01 ^{bAx}	6.27±0.01 ^{bA}
450	0.4	30.04±0.91 ^{aBx}	14.15±2.67 ^{aB}	5.35±0.01 ^{aB}	5.72±0.01 ^{aBx}
	2.4	28.94±0.54 ^{aBx}	16.30±2.50 ^{aA}	6.54±0.01 ^{bBx}	6.40±0.01 ^{bBx}
Kontrol		35.09±1.12	16.92±3.57	5.38±0.01	6.31±0.01

a-b, lif miktarı arası farklılıkları; A-B, lif boyutu arası farklılıkları gösterir. x, kontrolden farklılığı gösterir. Herhangi bir üst simge olmaması, sonuçlar üzerinde değişkenlerin veya interaksiyonlarının etkisi olmadığını gösterir. Kontrol örneğine enginar lifi eklenmemiştir.

3.3.2. Köfte örneklerinin renk değerlerindeki değişim

Renk değerleri üzerine değişkenlerin, lif boyutu ve miktarının, ve interaksiyonlarının etkisi iki yönlü ANOVA ile; her örneğin kontrolden farkı ise tek yönlü ANOVA ile değerlendirilmiştir. İki yönlü ANOVA analizi sonucunda, pişmemiş ve pişmiş köftelerin beyazlık (L) değeri üzerine boyut ve lif miktarının ve interaksiyonlarının önemi olmamıştır (Tablo 2).

Pişmemiş köftelerin kırmızılık (a) ve yeşillik (b) değerleri üzerinde, değişkenlerin kendisi ve interaksiyonlarının istatistiksel açıdan etkisi olmamıştır, a değeri açısından kontrol ile karşılaştırıldıkları zaman her ne kadar düşük miktarda küçük boyutlu lif eklenerek hazırlanan köfteler hariç, diğer örneklerde a değerinde artış gözlenirse de, yine bu artış istatistiksel olarak önemli olmamıştır (p>0.05). Pişmiş örneklerin kırmızılık (a) değeri üzerine ise, sadece lif miktarının etkisi önemli olmuş, her iki boyutta da lif miktarı arttıkça köftelerin kırmızılık değerleri azalmıştır. Benzer şekilde kontrol ile karşılaştırıldıkları zaman, aralarındaki fark önemli olmamıştır. Pişmiş örneklerin yeşillik (b) değeri üzerinde de değişkenlerin veya interaksiyonlarının etkisi önemli olmamış, benzer şekilde kontrolden de farkları olmamıştır.

Tablo 2. Farklı boyut ve miktarlarda eklenen enginar lifinin çiğ ve pişmiş köftelerin renk değerleri üzerine etkisi

		Lif miktarı (%)	Boyut (µm)		Kontrol
			150	450	
L*	çiğ	0.4	44.48±1.21	43.47±3.62	44.70±2.25
		2.4	40.50±1.90	45.35±2.18	
	pişmiş	0.4	39.55±1.22	37.58±1.47	35.88±1.70
		2.4	39.21±2.2	38.23±2.40	
a*	çiğ	0.4	12.68±1.57	13.80±1.74	12.64±1.12
		2.4	13.42±2.70	13.49±0.74	
	pişmiş	0.4	8.14±0.85 ^a	9.32±0.88 ^a	8.94±0.91
		2.4	7.00±0.83 ^b	7.81±1.17 ^b	
b*	çiğ	0.4	10.46±1.27	11.35±1.00	10.54±1.48
		2.4	9.87±0.23	11.13±1.35	
	pişmiş	0.4	6.07±0.27	5.96±1.64	6.08±1.38
		2.4	5.55±0.88	6.01±0.57	

a-b, sütunlar (lif miktarı) arası farklılıkları gösterir (p<0.05). Herhangi bir üst simge olmaması, sonuçlar üzerinde değişkenlerin veya interaksiyonlarının etkisi olmadığını gösterir. Kontrol örneğine enginar lifi eklenmemiştir.

3.3.3. Köfte örneklerinin tekstürel özelliklerinde değişim

Gıdalarda pişirme süresince protein denatürasyonuna bağlı olarak tekstürel değişiklikler gözlemlenir, yağ absorpsiyonu artar ve nem kaybı yaşanır. Bu etmenler üründe sertleşmeye ve küçülmelere sebep olmaktadır (Cava ve ark., 2012). İki yollu ANOVA sonuçlarına göre, çiğ köftelerin sertlik değeri üzerine lif miktarı ve lif miktarının boyutuyla interaksyonu etkili olmuştur (Tablo 3). Bu sonuçlara göre, düşük boyutlu lif eklenen pişmemiş köftelerin sertlik değeri üzerinde lif miktarının etkisi önemli değilken, büyük boyutlu lif eklenen örneklerde ise lif miktarı arttıkça sertlik değeri artmıştır ve kontrol ile sertlik açısından sadece bu örnekte farklılık gözlenmiştir. Lif boyutu artışı ile, su tutma kapasitesinin artışı bu sonucu desteklemektedir. Pişirilen köftelerde ise, değişkenlerin kendileri, interaksyonları sonuçlar üzerinde önemli olmazken, kontrolden farklı örnek de bulunmamaktadır (Tablo 4). Yapışkanlık değeri üzerinde ise, lif miktarı ve onun lif boyutu ile olan interaksyonu önemli olmuştur. Düşük boyutlu lif kullanımında, lif miktarı arttıkça yapışkanlık değeri azalırken, yüksek boyutlu lif kullanıldığında lif miktarının etkisi önemli olmamıştır. Kontrol ile karşılaştırıldığında, yüksek konsantrasyonda lif kullanıldığı zaman pişmemiş köftelerde yapışkanlık azalsa da, sadece düşük boyutlu lif eklenen örnekteki azalma istatistiksel açıdan anlamlı olmuştur.

Köfteler pişirildiği zaman, her iki boyutta da lif miktarının artması ile yapışkanlık azalmış, her iki konsantrasyonda da daha büyük boyutlu lif eklenmesi ile yapışkanlık değeri nispeten artmıştır, ancak yapışkanlık değerleri açısından pişmiş örneklerde kontrolden farklı örnek bulunmamıştır. Lif miktarı ve boyutunun interaksyonu pişirilmeyen köftelerin iç yapışkanlık ve sakızimsılık üzerine etkili olmuş, yüksek boyutta lif, sadece yüksek oranda eklendiğinde iç yapışkanlık değeri azalmış, sakızimsılık değeri artmış ve bu değişimin kontrol örneğinden farkı da önemli olmuştur. Suyun daha fazla tutulması ile, daha kesikli ve dağınık bir yapı elde edilebileceğinden bu değerlerde azalma gözlenmiş olabilir.

Çiğnenebilirlik değeri, sertlik, esneklik ve iç yapışkanlığın fonksiyonu olduğundan dolayı, değişkenlerin interaksyonu önemli olup, sadece yüksek lif miktarında büyük boyutlu lif eklenmesi pişirilmeyen köftelerin, çiğnenebilirlik değeri üzerinde etkili olup, kontrolden farkı önemli olmuştur. Pişirilme ile beraber, kontrolden fark ortadan kalkmış, lif eklenen örnekler arasında, yalnızca düşük boyutlu olan liflerin yüksek konsantrasyonda eklenmesiyle çiğnenebilirlikte önemli derecede azalma gözlenmiştir. Elastikiyet değerleri açısından ise, pişirilmeyen köfteler üzerinde lif miktarının ve boyutun etkisi ayrı ayrı önemli olup, interaksyonları önemli olmamıştır. Kontrolden fark ise sadece, düşük boyutta ve yüksek konsantrasyonda lif eklenen örnekte gözlenmiştir. Örnekler pişirildiği zaman ise, kontrolden farklılık yüksek boyutlu lifin her iki konsantrasyonda eklendiği örneklerde önemli olmuştur. Lif içeren örnekler kendi aralarında karşılaştırıldıkları zaman, artan lif miktarı ile elastikiyet değeri azalmıştır.

Tablo 3. Farklı boyutlarda ve farklı miktarlarda enginar lifi eklenen çiğ köftelerin tekstürel özellikleri

	Lif miktarı (%)	Boyut (µm)		Kontrol
		150	450	
Sertlik	0.4	4.88±0.42 ^{aA}	3.69±0.55 ^{aA}	3.97±0.30
	2.4	4.30±1.24 ^{aA}	6.60±0.16 ^{bBx}	
Yapışkanlık	0.4	-244.26±23.60 ^{aA}	-185.63±25.87 ^{aA}	-200.95±14.83
	2.4	-98.06±62.64 ^{bAx}	-154.36±17.7 ^{aA}	
Esneklik	0.4	0.92±0.00	0.93±0.00	0.92±0.00
	2.4	0.87±0.07	0.90±0.04	
İç yapışkanlık	0.4	0.58±0.01 ^{aA}	0.59±0.01 ^{aA}	0.58±0.00
	2.4	0.58±0.08 ^{aA}	0.54±0.09 ^{bBx}	
Sakızimsılık	0.4	2.83±0.24 ^{aA}	2.16±0.27 ^{aA}	2.32±0.17
	2.4	2.55±0.76 ^{aA}	3.55±0.03 ^{bBx}	
Çiğnenebilirlik	0.4	2.62±0.22 ^{aA}	2.01±0.24 ^{aA}	2.15±0.16
	2.4	2.27±0.86 ^{aA}	3.22±0.17 ^{bBx}	
Elastikiyet	0.4	0.16±0.00 ^{aA}	0.16±0.02 ^{aB}	0.16±0.00
	2.4	0.18±0.07 ^{bAx}	0.16±0.09 ^{bB}	

a-b, satırlar (% lif miktarı) arası farklılıkları; A-B, sütunlar (lif boyutu) arası farklılıkları gösterir (p<0.05). Herhangi bir üst simge olmaması, sonuçlar üzerinde değişkenlerin veya interaksyonlarının etkisi olmadığını gösterir. x, kontrolden farklılığı gösterir. Kontrol örneğe enginar lifi eklenmemiştir.

Tablo 4. Farklı boyutlarda ve farklı miktarlarda enginar lifi eklenen pişmiş köftelerin tekstürel özellikleri

	Lif miktarı (%)	Boyut(μm)		Kontrol
		150	450	
Sertlik	0.4	1233.73±263.81	1122.71±139.55	823.60±22.0
	2.4	747.78±215.00	890.98±1.63	
Yapışkanlık	0.4	-0.26±0.07 ^{aA}	-0.63±0.27 ^{aB}	-0.47±0.28
	2.4	-0.04±0.04 ^{bA}	-0.15±0.10 ^{bB}	
Esnelik	0.4	2.45±0.06	2.07±0.39	1.89±0.62
	2.4	1.70±0.70	2.23±0.18	
İç yapışkanlık	0.4	0.90±0.00 ^a	0.92±0.00 ^{ax}	0.87±0.00
	2.4	0.87±0.04 ^b	0.88±0.00 ^b	
Sakızimsılık	0.4	945.17±335.83	939.49±181.49	712.55±23.57
	2.4	640.25±157.88	786.67±1.77	
Çiğnenebilirlik	0.4	2340.70±881.06 ^a	1878.95±2.84 ^a	1358.71±492.97
	2.4	976.79±179.80 ^b	1755.60±147.40 ^a	
Elastikiyet	0.4	0.53±0.01 ^{aA}	0.54±0.00 ^{aBx}	0.51±0.00
	2.4	0.52±0.00 ^{bA}	0.48±0.05 ^{bBx}	

a-b, satırlar (lif miktarı,%) arası farklılıkları; A-B, sütunlar (lif boyutu) arası farklılıkları gösterir (p<0.05). Herhangi bir üst simge olmaması, sonuçlar üzerinde değişkenlerin veya interaksiyonlarının etkisi olmadığını gösterir. x, kontrolden farklılığı gösterir. Kontrol örneğine enginar lifi eklenmemiştir.

3.3.4 Köfte örneklerinin duyuusal özelliklerinde değişim

Duyuusal özellikler açısından sadece renk üzerine olan etkide, her iki lif boyutunda da, köftelere eklenen lif miktarı arttıkça renk değerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Kontrol köftesinden fark ise, enginar lifinin daha büyük boyutlu ve daha yüksek konsantrasyonda eklendiği örnekte istatistiksel olarak anlamlı olmuştur. Sululuk açısından değerlendirildiği zaman, her iki boyutta da lifin daha yüksek konsantrasyonlarda eklendiği örneklerde bu değer azalmış ancak fark istatistiksel olarak anlamlı olmamıştır. Benzer şekilde çiğnenebilirlik ve genel beğeni açısından da en az puan alan örnek lifin büyük boyutta ve yüksek konsantrasyonda eklendiği örnek olmuştur. (Tablo 5).

Tablo 5. Farklı boyutlarda ve farklı miktarlarda enginar lifi eklenen pişmiş köftelerin duyuusal özellikleri

	Lif miktarı (%)	Boyut(μm)		Kontrol
		150	450	
Renk	0.4	3.7±0.82 ^a	4.1±0.88 ^a	4.3±0.67
	2.4	3.4±0.70 ^b	3.3±0.67 ^{bx}	
Koku	0.4	3.6±0.84	3.9±0.99	3.9±0.88
	2.4	3.6±0.97	3.5±0.71	
Sululuk	0.4	3.2±1.03	3.5±0.97	3.5±0.71
	2.4	2.9±1.10	2.8±0.92	
Sertlik	0.4	3.3±0.95	3.6±0.97	3.5±0.85
	2.4	3.0±0.94	2.8±1.03	
Tat ve Aroma	0.4	3.6±0.84	3.7±0.95	3.5±0.71
	2.4	3.1±0.99	3.0±0.94	
Çiğnenebilirlik	0.4	3.3±1.16	3.5±0.85	3.4±0.70
	2.4	3.1±0.88	2.6±0.84	
Genel Beğeni	0.4	3.3±1.16	3.8±0.92	3.7±0.95
	2.4	3.1±0.88	2.8±0.92	

a-b, satırlar (lif miktarı,%) arası farklılıkları gösterir (p<0.05). Herhangi bir üst simge olmaması, sonuçlar üzerinde değişkenlerin veya interaksiyonlarının etkisi olmadığını gösterir. x, kontrolden farklılığı gösterir. Kontrol örneğine enginar lifi eklenmemiştir.

4. Sonuç

Enginar atıklarından elde edilen liflerin boyutlarındaki azalma ile beraber su bağlama ve yağ tutma kapasitelerinde azalma gözlenmiştir. Pişirme sonrası köftelerde görülen ağırlık kaybındaki azalma üzerine eklenen lif miktarının etkisi, lifin boyutuna göre farklılık göstermiştir. Eklenen lifin miktarı yüksek boyutlu liflerde önemli olmazken, düşük boyutlu liflerde lifin miktarı arttıkça ağırlık kaybında daha az azalma olmuştur. Lif eklenmeyen örnekle karşılaştırıldığı zaman ise, lif eklenen örneklerde genel olarak ağırlık kaybında azalma olmuştur. Lif eklenmeyen örnekle karşılaştırıldığı zaman ise, lif eklenen örneklerde genel olarak ağırlık kaybında daha az azalma olmuştur. Lif eklenmeyen örnekle karşılaştırıldığı zaman ise, lif eklenen örneklerde genel olarak ağırlık kaybında daha az azalma olmuştur. Lif eklenmeyen örnekle karşılaştırıldığı zaman ise, lif eklenen örneklerde genel olarak ağırlık kaybında daha az azalma olmuştur.

kaybının daha az olduğu gözlenmiştir. Çaptaki azalmanın en az olduğu örnek, yüksek boyutta ve düşük konsantrasyonda lif eklenen örnek olmuştur. Bu iki değer göz önüne alındığı zaman, yüksek boyutlu lifin düşük konsantrasyonda köfte formülasyonunda kullanılması önerilebilir. Renk değerleri açısından, sadece kırmızılık değeri üzerine lif miktarının etkisi önemli olurken, kontrol köfteler ile aralarındaki fark önemli olmamıştır. Tüm duyuşal değerlendirmeler açısından kontrol örneğine en yakın sonuçları, enginar lifinin düşük konsantrasyonda ancak büyük boyutta eklendiğı örnek almıştır. Sonuç olarak, enginar lifinin köfte formülasyonunda kullanımı hakkında şu öneriler yapılabilir:

1. Çalışmada köfte örneklerinin verimi (ağırlık ve çapta azalma) göz önüne alındığında, sadece eklenen lifin miktarının değil, aynı zamanda boyutunun da sonuçlar açısından önemli olduğu görülmüştür
2. Diyet liflerinin sağlık açısından faydaları ve et ürünlerindeki olumlu etkileri göz önüne alındığında köfte gibi et ürünlerinde tekstürel ve duyuşal açısından kontrole göre farklılıklar çıkmamıştır, bu nedenle et ürünlerinde kullanımı yaygınlaştırılabilir

Kaynakça

- Cava, R., Ladero, L., Cantero, V., & Rosario Ramírez, M. (2012). Assessment of Different Dietary Fibers (Tomato Fiber, Beet Root Fiber, and Inulin) for the Manufacture of Chopped Cooked Chicken Products. *Journal of Food Science*, 77(4), C346–C352. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02597.x>
- Choi, Y.S., Choi, J.H., Han, D.J., Kim, H.Y., Lee, M.A., Jeong, J.Y., Chung, H.J. & Kim, C.J., (2010). “Effects of replacing pork back fat with vegetable oils and rice bran fiber on the quality of reduced-fat frankfurters”, *Meat Sci.*, 84:557–563. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.012>
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C. & Attia, H., (2011). “Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review”, *Food Chem.*, 124:411–421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Ekici, L., & Ercoşkun, H. (2007). Et Ürünlerinde Diyet Lifi Kullanımı. *GTED*. 1:83-90
- Encalada, A.M.I., Basanta, M.F., Fissore, E.N., De’Nobili, M.D., & Rojas, A.M. (2015). Carrot fiber (CF) composite films for antioxidant preservation: particle size effect, *Carbohydrate Polymers*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.09.109>
- Fernandez-Lopez, J., Sanchez-Zapata, E., Munoz, C.M., Fuentes, E., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C. & Perez-Alvarez, J.A., (2010). “Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger”, *Meat Sci.*, 85:70–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.006>
- Han, M., & Bertram H. C. (2017). Designing healthier comminuted meat products: Effect of dietary fibers on water distribution and texture of a fat-reduced meat model system. *Meat Science*. 133:159- 165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.07.001>
- Hellwege, E.M., Czaplá, S., Jahnke, A., Willmitzer, L. & Heyer, A.G., (2000). “Transgenic potato (*Solanum tuberosum*) tubers synthesize the full spectrum of inulin molecules naturally occurring in globe artichoke (*Cynara scolymus*) roots”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97:8699–8704. <https://doi.org/10.1073/pnas.150043797>
- Henning, S. S. C., Tshalibe, P., & Hoffman, L. C. (2016). Physico-chemical properties of reduced-fat beef species sausage with pork back fat replaced by pineapple dietary fibres and water. *LWT*, 74, 92–98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.007>
- Ktari, N., Smaoui, S., Trabelsi, I., Nasri, M., & Ben Salah, R. (2014). Chemical composition, techno-functional and sensory properties and effects of three dietary fibers on the quality characteristics of Tunisian beef sausage. *Meat Science*, 96(1), 521–525. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.038>
- Kılınççeker, O., & Kurt, Ş. (2018). Effects of inulin, carrot and cellulose fibres on the properties of raw and fried chicken meatballs. *South African Journal of Animal Science*, 48 (1). <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v48i1.5>
- Machado, M. T. C., Eça, K. S. Vieira, G. S., Menegalli, F. C., Martínez, J., & Hubinger, M.D. (2015). Prebiotic oligosaccharides from artichoke industrial waste: evaluation of different extraction methods. *Industrial Crops and Products*, 76, 141-148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.047>
- Premavalli, K. S. (2010). Effect of particle size reduction on physicochemical properties of ashgourd (*Benincasa hispida*) and radish (*Raphanus sativus*) fibres AU - Gupta, Prachi. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61(1), 18–28. <https://doi.org/10.3109/09637480903222186>
- Talukder, S. (2015). Effect of Dietary Fiber on Properties and Acceptance of Meat Products: A Review AU - Talukder, Suman. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 1005–1011. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.682230>
- Tomaschunas, M., Zörb, R., Fischer, J., Köhn, E., Hinrichs, J., & Busch-Stockfisch, M. (2013). Changes in sensory properties and consumer acceptance of reduced fat pork Lyon-style and liver sausages containing inulin and citrus fiber as fat replacers. *Meat Science*, 95(3), 629–640. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.06.002>
- Verma, A., K., & Banerjee, R. (2010). Dietary fibre as functional ingredient in meat products: a novel approach for healthy living — a review. *Journal of Food Science and Technology*. 47(3), 247-257. doi:10.1007/s13197-010-0039-8
- Ye, F., Tao, B., Liu, J., Zou, Y., & Zhao, G. (2015). Effect of micronization on the physicochemical properties of insoluble dietary fiber from citrus (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) pomace. *Food Science and Technology International*, 22(3), 246–255. <https://doi.org/10.1177/1082013215593394>
- Yılmaz, İ., & Dağlıoğlu, O. (2003). The effect of replacing fat with oat bran on fatty acid composition and physicochemical properties of meatballs. *Meat Science*, 65(2), 819–823. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00286-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00286-3)
- Zhang, Z., Song, H., Peng, Z., Luo, Q., Ming, J., & Zhao, G. (2012). Characterization of stipe and cap powders of mushroom (*Lentinus edodes*) prepared by different grinding methods. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 406–413. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.11.007>



Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Baca Gazı Sıcaklığının Tahmin Edilmesi

Sedat Golgiyaz^{1*}, Muhammed Fatih Talu², Cem Onat³

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bingöl Üniversitesi, 12000, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0305-9713)

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, 44280, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1166-8404)

³Uçak Gövde-Motor Bölümü, Fırat Üniversitesi, 2300, Elâzığ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2886-0470)

(İlk Geliş Tarihi 21 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 1 Haziran 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.568348)

ATIF/REFERENCE: Golgiyaz, S., Talu, M. F., & Onat, C., (2019). Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Baca Gazı Sıcaklığının Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 283-291.

Öz

Bu makalede, küçük ölçekli fındık kömürü yakıtlı brülörde baca gazı sıcaklığı tahmini ile ilgili deneysel bir çalışma sunulmaktadır. Baca gazı sıcaklığı yakıt türüne göre belli bir aralıkta olması gerekir aksi durumda kazanda korozyona sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında alev görüntüsünden öznitelikler elde edilmiştir. Bu öznitelikler ve DVR modeli ile baca gazı sıcaklığı tahmin edilmiştir. Alev görüntüsü CCD kamera ile alınmıştır. Aynı zamanda referans baca gazı sıcaklığı, baca gazı analizörü ile alınmıştır. Alev görüntüsü ve sıcaklık değeri aynı bilgisayara kaydedilmiştir. Alev görüntüsü gri seviye görüntüsüne çevrilerek öznitelikler elde edilmiştir. Öznitelikler elde edilirken alev görüntüsünün yoğunluk dağılımı kullanılmıştır. Bu işlem için iki tip dağılım kullanılmıştır. Birincisi görüntünün histogramı alınarak konumdan bağımsız yoğunluk dağılımının elde edilmesidir. İkincisi satır ve sütun toplamlarını kullanarak uzamsal yoğunluk dağılımının elde edilmesidir. Bu iki özneliğin kombinasyonlarından elde edilen öznitelikler 6 çeşit DVR modeli ile gerçekleştirilmiştir. En iyi sonuçlar, her iki dağılımdan elde edilen özniteliklerin birlikte kullanıldığı öznitelik çıkarma yöntemi için kübik DVR modeli ile elde edilmiştir. Önerilen modelde baca sıcaklığı (T °C) R = 0.97 doğruluk ile tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar baca gazı sıcaklığı ile alev görüntüsü arasında yüksek oranda bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Baca gazı sıcaklığı tahmini, alev görüntüsü, destek vektör regresyon.

Estimation of Flue Gas Temperature by Image Processing and Machine Learning Methods

Abstract

This paper presents an experimental study on the flue gas temperature estimation in small-scale nut coal-fired boiler. The flue gas temperature must be within a certain range depending on the fuel type, otherwise it causes corrosion in the boiler. Within the scope of this study, features were obtained from flame image. The flue gas temperature was estimated with these features and the SVR model. The flame image was taken with a CCD camera. At the same time, the reference flue gas temperature was taken with the flue gas analyzer. The flame image and temperature are recorded on the same computer. Flame image is converted to gray scale image and features are obtained. The intensity distribution of the flame image was used when obtaining the features. Two types of distribution

*Sedat GOLGIYAZ: Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Bingöl, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0305-9713, Tel:90-426-2160012, sedatg@bingol.edu.tr

were used for this process. The first is the histogram of the flame image to obtain a location independent intensity distribution. The second is to obtain a spatial intensity distribution using row and column sums. The attributes obtained from the combinations of these two type features were performed with 6 kinds of SVR models. The best results were obtained for the cubic SVR model for the feature extraction method in which the attributes obtained from both distributions were used together. In the proposed model the flue temperature (T ° C) was estimated with $R = 0.97$ accuracy. The results show that there is a high correlation between the flue gas temperature and the flame image.

Keywords: Flue gas temperature estimation, flame image, support vector regression.

1. Giriş

Pek çok endüstriyel işlemden kazan, yakıttaki kimyasal enerjiyi yanma ile termal enerjiye dönüştüren ekipman olarak kullanılmaktadır. Aşındırıcı kül bileşenleri içeren kömürler (özellikle kuvars) ve yüksek baca gazı hızları (kısmen yakıt bileşimine bağlı olan) yakıt boruları ve kazan buhar borularında erozyonuna sebep olmaktadır. Kükürt ve klor gibi kömür kaynaklı bileşenler borularda korozyona yaparak arızalanmasına sebep olmaktadır. Teknolojideki ilerlemeye bağlı olarak emisyon mevzuatını sıkılaştırmak suretiyle işletmecilerden emisyonun azaltılması yönündeki beklentiler artmaktadır. Örneğin, Avrupa ve Kuzey Amerika'daki enerji santrallerinde baca gazı kükürt giderme, seçici katalitik indirgeme ve düşük NO_x yakma sistemlerinin yaygın olarak yeniden yapılandırılması yasa koyucu tarafından istenmektedir (GoldsWorthy et al. 2013). Kükürt dioksit (SO_2) emisyonu, kömürdeki kükürt içeriğine bağlıdır, çünkü neredeyse kömür içerisindeki tüm kükürt yanma sırasında SO_2 'ye (bazısı SO_3 'e) oksitlenir. Yanma işlemi ile oluşan baca gazlarının, yakıt türüne ve yakıtın ihtiva ettiği kükürt miktarına bağlı olarak, belli bir sıcaklık aralığında olması gerekmektedir. Yakıt-hava oranının belli bir aralıkta olması kazan verimi açısından en önemli parametrelerden biridir. İdeal değerden fazla yakıt debisi, borulardaki kirlilik ve kazan ısıtma yüzeyinin yetersizliği gibi sebeplere bağlı olarak baca gazı sıcaklığı yükselmektedir. Kazanda baca gazı sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak verim kaybı oluşmaktadır. Baca gazı sıcaklığının belli bir değer altında düşmesi istenmemektedir. Düşük baca gazı sıcaklığında SO_2 su buharı ile birleşerek sülfirik asite (H_2OSO_4) dönüşür ve kazanda korozyona sebep olarak tahribatlara neden olur. Doğalgazda 130-150 °C, sıvı ve katı yakıtta 130-175 °C sıcaklık aralıkları baca gazı sıcaklığı için olması istenen değerlerdir. Kazanda yüksek baca gazı sıcaklığına yakıt hava oranı ayarlanarak veya borulara türbülötör takılarak müdahale edilmelidir. Baca gazı sıcaklığının her 20° düşümü, enerji veriminde ortalama %1 artışa sebep olmaktadır (Bilgin 2011).

Görüntü işleme uygulamalarının endüstride kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır (Golgiyaz et al. 2016; Peña et al. 2017). Alev görüntüsü ile icra edilen uygulamalar genel olarak 3 tip olmaktadır. Yanma sürecinin izlenmesi-kontrol edilmesi (González-Cencerrado et al. 2013; Hanbay et al. 2017; Wang et al. 2017), emisyon tahmini (Baek et al. 2001; Li et al. 2014; Wang et al. 2002) ve alev görüntüsünden sıcaklığının tahmin edilmesidir (Bonafacic et al. 2015; Lou et al. 2007; Xiangyu et al. 2018). Alev görüntüsü çalışmalarında genel olarak CCD(charge-coupled device) kamera kullanılmasına rağmen spektroskopik görüntüleme sistemi kullanan çalışmalarda bulunmaktadır (Krabicka et al. 2010; Li et al. 2016). Geleneksel CCD kameralar ucuz ve yaygın olmalarından dolayı tercih edilmektedir. Alev görüntüsü ile icra edilen çalışmalar değişik yakıt türleri ve değişik kapasite ve türdeki kazanlar için çeşitli metodlarla icra edilmiştir. Sadece geleneksel CCD kameralar ve görüntü yakalayıcı kullanılarak, alev görüntüleri doğrudan elde edilebilir. Alev görüntülerinin karakteristikleri, yanma performansındaki ölçüm kalitesi hakkında önemli bilgiler sağlar.

CCD kamera ile icra edilen uygulamalarda öznitelik çıkarmak için alevden doğal olarak yayılan radyal enerji sıklıkla kullanılmıştır (Huang et al. 2010; Liu et al. 2016; Zhou et al.1994). İlgili bir çalışmada gri alev görüntüsünün yoğunluk ortalaması Radyal Enerji Sinyali (RES) olarak alınmıştır (Huang et al. 2010; Zhou et al.1994). İlgili çalışmada çalışmada NO_x emisyonu ve termal verimlilik gibi kazan ünitesi performansları incelenmiştir (Huang et al. 2010). Bir diğer çalışmada kömür yakıtlı alev karakteristiği yarı endüstriyel ölçekteki brülörde dijital görüntü işleme yoluyla çalışılmıştır (González-Cencerrado et al. 2012). İlgili çalışmada sıcaklık ve hava/yakıt oranıyla ilişkili parametrelerin parlaklık, titreşim ve dalgalanma genliği olduğu bildirilmiştir. Tespit edilen parametre bağımlılıklarını doğrulamak için farklı deneysel testler yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Öznitelik elde etme yöntemi olarak (González-Cencerrado et al. 2012) nolu çalışmada önerilen yöntemdekine benzer öznitelikler kullanılarak farklı girdap koşulları için toz haline getirilmiş yakıtın karakteristiği alev görüntüsü işlenerek incelenmiştir (González-Cencerrado et al. 2013). Bir diğer çalışmada gri alev seviye görüntüsü ve güç çıkışının ortalama değerinden yani iki tip sensör verisinden RES hesaplanmıştır. Önerilen sistemde RES değeri ile brülör kömür yüklemesi kontrol edilmiştir (Liu et al. 2016). Görüntüden öznitelik çıkarmak yerine doğrudan piksel değerleri ile alev sıcaklığını tahmin eden çalışmalar da bulunmaktadır (Jiang et al. 2009; Xiangyu et al. 2016). Bu çalışmalarda önerilen sistem kamera parametrelerine bağımlı olmaları büyük bir dezavantajdır.

Alev görüntüsü ile icra edilen çalışmalardan da görüldüğü gibi alev görüntüsü ile baca gazı sıcaklığı arasında bir ilişki söz konusu olmaktadır. Çünkü alev görüntüsü ile alev sıcaklığının hesaplanması, emisyon değerlerinin tahmin edilmesi ve kazan veriminin kontrol edilmesi çalışmaları mevcuttur. Alev sıcaklığı, kazan emisyonu ve verimi ile baca gazı sıcaklığı arasında bir ilişki olmaktadır. Dolayısıyla alev görüntüsü ile baca gazı sıcaklığı arasında bir ilişki söz konusu olmaktadır. Bu ilişki bu çalışma kapsamında

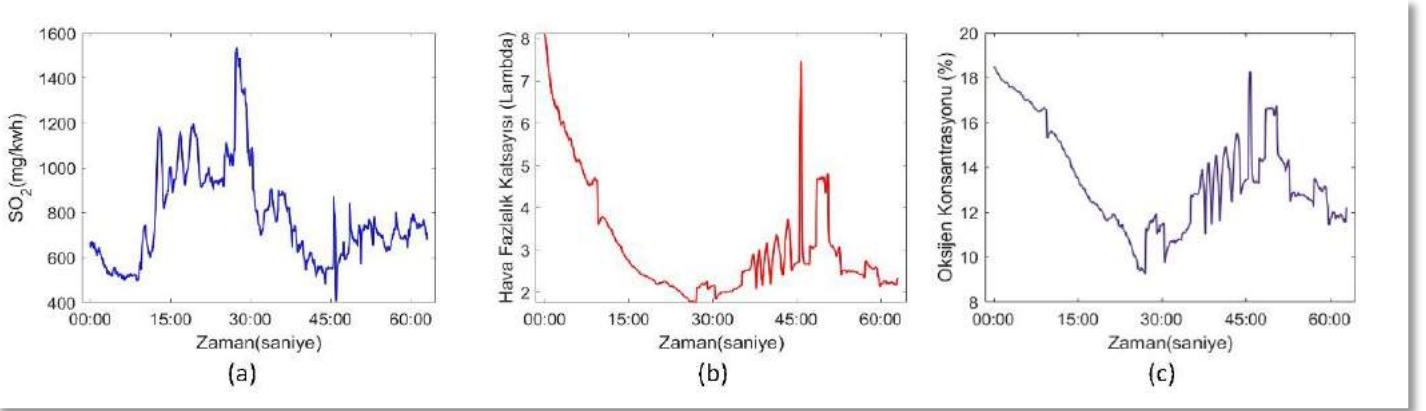
incelenmiştir. Literatürde sunulan öznelik çıkarma yöntemlerinde alev yoğunluğu sıklıkla kullanılmasına rağmen konuma bağımlı alev yoğunluğu elde edilmemiştir. Dolayısıyla bu makale kapsamında sunulan uzamsal öznelik elde etme yöntemi yanma karakteristiğini ifade etmede daha iyi olduğu deneysel çalışma sonucu elde edilen sonuçlardan da görülecektir.

Destek Vektör Makinaları (DVM) sınıflandırma problemlerinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Aynı şekilde regresyon problemlerinde de Destek Vektör Regresyon (DVR) bir çok uygulama alanı bulmuştur (Qi et al. 2018). Bu çalışma kapsamında elde edilen öznelikler ile baca gazı sıcaklığını tahmin etmek için DVR modeli kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağı (YSA) ve DVR en yaygın kullanılan doğrusal olmayan regresyon modelleridir. YSA ile karşılaştırıldığında, istatistik öğrenme teorisine dayanan DVR yaklaşımı, hızlı öğrenme hızı, iyi genelleme yeteneği ve mükemmel gürültü toleransı özelliği avantajlarına sahiptir. Geçmişte, DVR'nin YSA'ya üstünlüğünü gösteren çalışmalar mevcuttur (Parveen et al. 2017; Quej et al. 2017; Wu et al. 2009). Bu çalışma kapsamında 6 adet DVR modeli için doğruluk kıyaslaması yapılarak nihai modele karar verilmiştir.

Kazan tipi ve kapasitesinden bağımsız olarak operasyonel mükemmellik için baca gazı sıcaklığının ölçülmesi ve sıcaklık kontrolü önemli olmaktadır. Hane ısıtması, endüstri, ulaşım ve elektrik üretimi sektörlerinde kömür gelecekte de önemli bir enerji kaynağı olmaya devam edecektir (Conti et al. 2016). Mevcut baca gazı sıcaklığını ölçmek için termokupül veya birçok ölçümün eşzamanlı alındığı baca gazı analizörleri kullanılmaktadır. Görüntü işleme sistemleri zaten kazanlarda alev sıcaklığının ölçülmesi, enerji verimliliğinin kontrol edilmesi ve emisyon tahmininde kullanılmaktadır. Önerilen sistem bu mevcuttaki sistemlerde baca gazı sıcaklığını alev görüntüsü ile ölçtüğü için maliyeti açısından avantajlıdır. Çünkü ek bir bileşene ihtiyaç olmadan baca ağı sıcaklığı tahmin edilebilecektir. Baca gazı analizörü gibi sarf malzeme olmaması düzenli bakım gereksiniminin olmaması ve kesintisiz çalıştırılabildiğinden dolayı baca gazı analizörlerine göre daha avantajlıdır. Çünkü analizörler genellikle belli bir çalışma süresinden sonra cihazın çıkarılıp dinlenmesi gerekmektedir. Önerilen sistem mevcut küçük ölçekli ev tipi kazanlarda kullanılabilir gibi, sistem geliştirilerek endüstride ve termik santraller gibi ileri düzey sistemlerde de yanma veriminin artırılması ve korozyonun azaltılması için kullanılabilir.

2. Deneysel Düzen

Bu deney çalışması fındık kömürü yakıtı 85,000 kcal/h kapasiteli ev tipi kazan ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de deney boyunca elde edilen veriler; (a) SO_2 emisyonu, (b) hava fazlalık katsayısı ve (c) oksijen konsantrasyonu verilmiştir. İlgili grafiklerden de görüldüğü gibi hava fazlalık katsayısı aralığı geniş (1-8) tutulmuştur.



Şekil 1. Deneyin yapıldığı koşullar; (a) SO_2 emisyonu, (b) hava fazlalık katsayısı ve (c) oksijen konsantrasyonu

Deney kazanına 10 cm çapında dairesel bir pencere açılmış ve yanma işlemi CCD kamera ile görüntülenmiştir. Gözetleme penceresi, kameranın zarar görmemesi ve ısı kaybının en aza indirilmesi için ısıya dayanıklı cam ile kapatılmıştır. Deney boyunca yanma işlemi CCD kamera ile 1200×1200 çözünürlükte yakalanmıştır. Kayıt işlemi 63 dakika boyunca yapılmıştır. Baca gazı emisyon cihazından kayıt periyodu saniyede bir olacak şekilde emisyon ölçümleri ve baca gazı sıcaklığı alınıp kaydedilmiştir. İlgilenilen alev görüntüsü kullanıcı tarafından 1160×1160 piksel olacak şekilde seçilmiştir. Bu şekilde 3780 adet baca gazı analizörü ölçümü ve alev görüntüsü aynı bilgisayara kaydedilmiştir. Baca gazı analizöründen elde edilen baca gazı sıcaklık değeri regresyon modelinin eğitilmesinde referans sıcaklık verisi olarak alınmıştır. Alev görüntüsü gri seviye görüntüsüne dönüştürülerek görüntü işleme teknikleriyle öznelikler elde edilmiştir. Bu özneliklerle daha az veri ile yanma sürecinin karakteristiği ifade edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer yöntemlerle doğruluk kıyaslanması yapılmıştır.

3. Materyal ve Metot

Kamera ile alınan alev görüntüsü gri seviye görüntüsüne çevrilerek yanma süreci ile ilgili öznelikler elde edilmiştir. Renki alev görüntüsünün 3 bileşinin ortalaması alınarak gri seviye alev görüntüsü elde edilmiştir. Öznelikler elde edilirken gri alev görüntüsünün iki tip yoğunluk dağılımı kullanılmıştır. Birincisi 8 bit gri görüntünün 256 çubukluk histogramı alınarak konumdan

bağımsız yoğunluk dağılımının elde edilmesidir. İkincisi her bir satır ve sütunun toplamını kullanarak uzamsal yoğunluk dağılımının elde edilmesidir. Bu iki özneliğin kombinasyonlarından elde edilen öznelikler regresyon modelinin eğitiminde kullanılmıştır. Bu şekilde anlık elde edilen görüntülerden özellikler elde edilerek DVR modeli vasıtasıyla baca gazı sıcaklığı tahmini yapılmıştır. DVR modelinde sadece anlık veriler ile anlık sıcaklığı tahmini yapılmakta bu işlem için sadece görüntü öznelikleri kullanılmaktadır.

3.1. Önerilen Öznelik Çıkarma Yöntemi

Histogram sayısal bir verinin dağılımını gösteren bir sütun grafiğidir. Görüntünün histogramı denilince 8 bitlik bir görüntü için 256 adet yoğunluk seviyesinden bahsedilmektedir. Görüntünün histogramı ile bu 256 adet yoğunluk seviyesinin, görüntüdeki frekans dağılımından bahsedilmektedir. Görüntünün histogramı; görüntünün iyileştirilmesi, görüntünün sınıflandırılması ve bölütleme problemleri gibi alanlarda kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışma kapsamında görüntü histogramı H ile temsil edilecektir.

Alevin gri seviye görüntüsü $I_{m \times n}$ olmak üzere uzamsal yoğunluk dağılımı, satır (1) ve sütun (2) toplamları denklemleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$X'_i = \sum_{j=1}^n I_{ij} \quad (1)$$

$$Y'_j = \sum_{i=1}^m I_{ij} \quad (2)$$

X' ve Y' öznelikleri ile yanma işlemi hakkında uzamsal bilgi elde edilmektedir. Önerilen sistem eğitilirken X' , Y' ve H 'nin kombinasyonları kullanılmıştır.

3.2. Görüntü Momentleri

Görüntü momentleri parlaklık ve yoğunluk değerlerini temsil etmek için kullanılan özneliklerdir. Görüntünün 4 momentli olan ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık literatürde yoğun olarak kullanılmıştır. Görüntünün momentlerinden öznelik elde edilirken çoğu zaman görüntü gri seviye resme çevrilmiştir. Alev görüntüsünün 4 momentini hesaplamak için denklem (3)'de ortalama, (4)'te standart sapma, (5)'te çarpıklık ve (6)'da basıklık denklemleri verilmiştir.

- **Birinci Moment – Ortalama:**

$$\mu_k = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{i,j} \quad (3)$$

- **İkinci Moment – Standart Sapma:**

$$\sigma_k = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (k_{i,j} - \mu_k)^2 \quad (4)$$

- **Üçüncü Moment – Çarpıklık:**

$$\gamma_{S_k} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{k_{i,j} - \mu_k}{\sigma_k} \right)^3 \quad (5)$$

- **Dördüncü Moment – Basıklık:**

$$\gamma_{k_k} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{k_{i,j} - \mu_k}{\sigma_k} \right)^4 - 3 \quad (6)$$

3.3. Destek Vektör Regresyon (DVR)

Alev görüntüsünden elde edilen öznelikler ile baca gazı sıcaklığını tahmin etmek için DVR modeli kullanılmıştır. DVM ilk olarak 1992'de Vladimir Vapnik ve arkadaşları tarafından tanımlanmış, sınıflandırma ve regresyon problemleri için popüler bir makine öğrenmesi yöntemidir (Vapnik 2000). DVR parametrik olmayan bir teknik olarak kabul edilir, çünkü çekirdek fonksiyonlarına dayanmaktadır. DVR ve YSA regresyon problemleri için en yaygın kullanılan doğrusal olmayan modellerdir. DVR eğitim verisi setinde tahmin değişkenlerini ve referans cevap değerlerini bulunur. Amaç, her eğitim noktası x için ϵ 'dan büyük olmayan bir değerle y_n 'den sapan ve mümkün olduğu kadar düz olan bir $f(x)$ fonksiyon bulmaktır. Şekil 2'de önerilen yapının genel şeması verilmiştir.

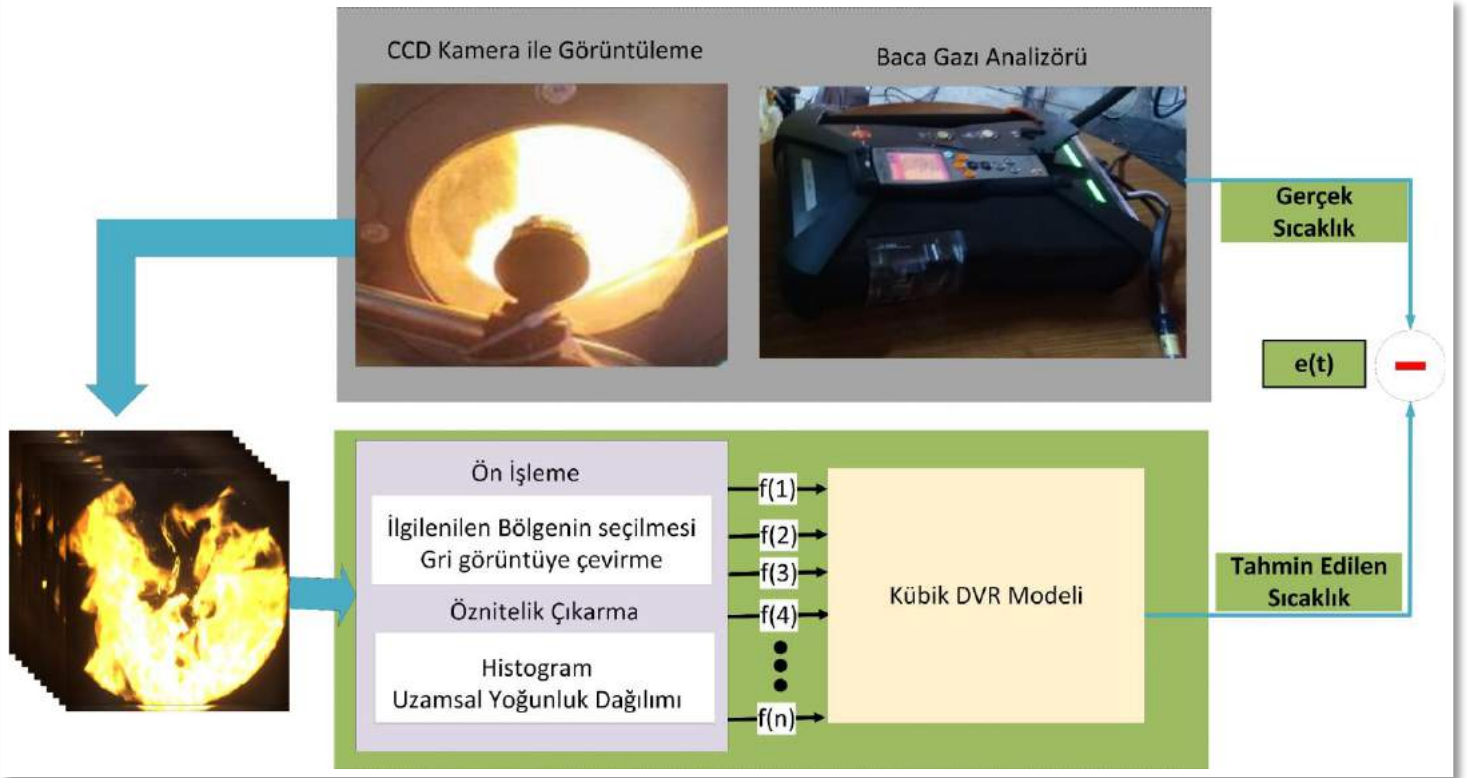
3.3.1. Doğrusal DVR

Farz edelim ki x_n, y_n gözlemlenen yanıt değerlerine sahip çok değişkenli N adet gözlem verisinden oluşan bir veri setidir. Doğrusal fonksiyonu bulmak için (7) deki denklem kullanılsın

$$f(x) = x'\beta + b \quad (7)$$

Bu fonksiyonda $f(x)$ bulmak için minimum norm değeri ($\|\beta\| = \beta'\beta$) ile bulunur. Bu fonksiyonu minimize etmek için dışbükey bir optimizasyon problemi olarak denklem (8)'deki gibi ifade edilir.

$$J(\beta) = \frac{1}{2} \|\beta\|^2 \quad (8)$$



Şekil 2. Önerilen yapının genel şeması

Denklem (8) verilen şartı yerine getirecek bir $f(x)$ fonksiyonunun bulunmaması mümkündür. Bu durumda denklemi çözülebilir kılmak için, her nokta için ξ_n ve ξ_n^* gevşek değişkenleri kullanılır. Gevşek değişkenler regresyon hatalarının ξ_n ve ξ_n^* değerlerine kadar var olmasına izin verir. Gevşek değişkenlerin dahil edilmesi, primal formül olarak da bilinen amaç fonksiyonuna dönüşümü sağlar (Vapnik 2000). Amaç fonksiyonu (9)'da verilmiştir.

$$J(\beta) = \frac{1}{2} \|\beta\|^2 + C \sum_{n=1}^N (\xi_n + \xi_n^*) \quad (9)$$

Burada C sabiti kutu kısıtıdır, epsilon marjının (ϵ) dışında kalan gözlemlere uygulanan cezayı kontrol eden pozitif bir sayısal değerdir ve aşırı öğrenmenin önlenmesini sağlar. Bu çalışma kapsamında önerilen tüm modellerde C sabiti ölçeklendirilmiş gözlenen değerlerin 1.349 ile bölünmesiyle elde edilmiştir. Epsilon ise ölçeklendirilmiş gözlenen değerlerin 13.49 ile bölünmesiyle elde edilen değer olarak alınmıştır.

3.3.2. Doğrusal olmayan DVR

Bazı regresyon problemleri doğrusal bir model kullanılarak yeterince tanımlanamaz. Böyle bir durumda, Lagrange formülasyonu doğrusal olmayan fonksiyonların için kullanılabilir. $x_1 \times x_2$ 'nin iç çarpımı yerine doğrusal olmayan bir çekirdek fonksiyonu $G(x_1, x_2) = \langle \varphi(x_1), \varphi(x_2) \rangle$ ile değiştirilerek, x 'i yüksek boyutlu bir uzaya taşıyan bir dönüşüm kullanılır. Çekirdek fonksiyonları, doğrusal ayrımı gerçekleştirmeyi mümkün kılmak için verileri daha yüksek boyutlu bir öznitelik uzayına dönüştürür. Bu çalışma kapsamında doğrusal, kübik, ikinci dereceden, orta gauss, ince gauss ve kaba gauss modeli olmak üzere 6 adet doğrusal olmayan DVR modeli kullanılmıştır. Doğruluk kıyaslaması yapılarak nihai modele karar verilmiştir. Bunlardan doğrusal DVR'de doğrusal (iç çarpım) çekirdek fonksiyonu (10), kübik ve ikinci dereceden DVR'de polinom çekirdek fonksiyonları (11) ve ince, orta ile kaba gauss DVR modellerinde gauss çekirdek fonksiyonu (12) kullanılmıştır.

$$G(x_j, x_k) = x_j' x_k \quad (10)$$

$$G(x_j, x_k) = (1 + x_j x_k)^q, \quad q \in \{2, 3, \dots\} \quad (11)$$

$$G(x_j, x_k) = \exp(-\|x_j - x_k\|^2) \quad (12)$$

Bu durumda yeni değerleri tahmin etmek için kullanılan fonksiyon denklem (13)'te verilmiştir.

$$f(x) = \sum_{n=1}^N (\alpha_n - \alpha_n^*) < \varphi(x_1), \varphi(x_2) > + b \text{ veya } f(x) = \sum_{n=1}^N (\alpha_n - \alpha_n^*) G(x_{n1}, x) + b \quad (13)$$

Önerilen sistem de çapraz doğrulama yaklaşımı kullanılmıştır. Çapraz doğrulama işlemi için tüm modellerde veri seti 5 parçaya bölünmüştür. Çekirdek fonksiyonu genişliği giriş verisine göre otomatik hesaplanmıştır.

3.4. DVR Modeli için Performans Kriterleri

Görüntü öznelikleri ile elde edilen verileri kullanıp DVR modeliyle elde edilen sonuçların referans verilerle kıyaslanıp performans verileri için korelasyon katsayısı (R) ve kök ortalama kare hata (RMSE) ölçütleri kullanılmıştır. RMSE (13) ve R (14) değerleri aşağıdaki gibi tanımlana bilir. Verilen sonuçlar 5 adet çapraz doğrulama işlemi için kullanılan tüm veriler için elde edilen sonuçlardır.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D}_i)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

$$R = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2} \right]^{1/2} \quad (14)$$

Burada D_i değeri tekil baca gazı sıcaklık değerini, \bar{D} ise tüm D_i değerlerinin ortalamasını ve \bar{D}_i ise DVR modeli sonucunda hesaplanan baca gazı sıcaklık değerini ifade etmektedir.

4. Bulgular ve Tartışma

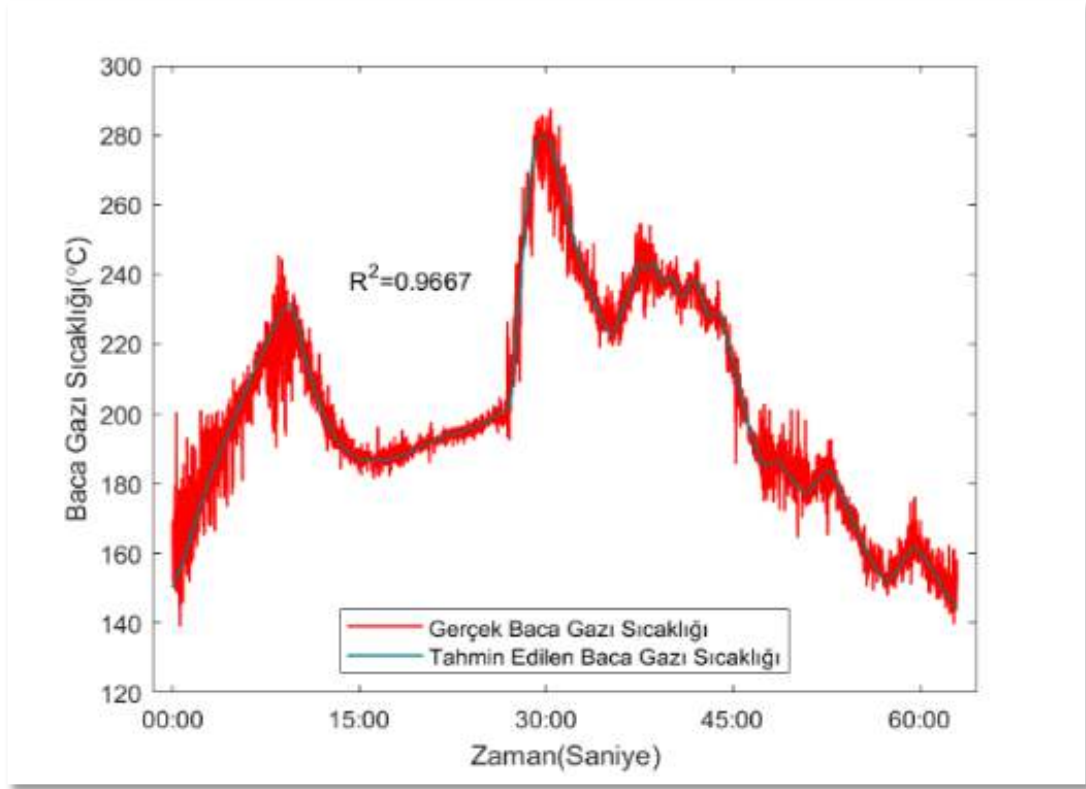
Alev görüntüsü ile DVR modeli arasındaki ilişki 6 çeşit DVR modeli için incelenmiştir. En iyi modele bu modellerin başarımlarına göre karar verilmiştir. Tablo 1'de ilgili DVR modelleri için önerilen öznelik çıkarma yöntemlerinin farklı kombinasyonları için başarımları verilmiştir.

Tablo 1. Önerilen Öznelik çıkarma yöntemlerinin değişik varyasyonları için DVR modelleri başarımları

		DVR Yöntemi											
		Kübik		İnce Gauss		İkinci Dereceden		Orta Gauss		Doğrusal		Kaba Gauss	
		R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE
Öznelik Yöntemi	$HX'Y'$	0,97	8,12	0,96	8,49	0,96	9,09	0,86	16,39	0,84	17,15	0,76	20,80
	HX'	0,95	10,25	0,93	11,61	0,93	11,65	0,81	18,74	0,78	19,97	0,74	21,72
	$X'Y'$	0,94	11,38	0,95	10,08	0,93	11,39	0,83	17,52	0,80	19,13	0,76	20,97
	HY'	0,93	11,85	0,92	12,75	0,93	11,68	0,83	18,34	0,83	17,59	0,67	24,38
	X'	0,88	15,78	0,90	13,98	0,87	15,34	0,78	19,83	0,74	21,31	0,72	22,22
	Y'	0,84	19,79	0,87	16,09	0,88	14,97	0,78	20,19	0,75	21,04	0,69	24,44
	H	0,81	19,53	0,70	22,45	0,84	17,30	0,58	25,92	0,64	24,37	0,46	28,74

Tablo 1'de görüldüğü gibi baca gazı sıcaklığı ve alev görüntüsü arasındaki en yüksek ilişki uzamsal dağılım özneliklerinin her ikisi ve görüntü histogramının birlikte kullanıldığı öznelik çıkarma yöntemi için kübik DVR modeli için bulunmuştur. İlgili model için baca gazı sıcaklığı ve alev görüntüsü arasında $R = 0.97$ ilişki bulunmuş ve $RMSE = 8,12$ olarak hesaplanmıştır. Önerilen ideal kübik DVR modeli için gerçek ve tahmin edilen baca gazı sıcaklığı grafiksel olarak Şekil 3'te verilmiştir.

Baca gazı sıcaklığı tahmininde son araştırmada önerilen öznelik çıkarma yapısı ile literatürdeki diğer öznelik çıkarma yöntemleri aynı veri seti ve 6 çeşit DVR modeli için gerçekleştirilmiştir. Burada hedeflenen sadece öznelik çıkarma yöntemlerinin performansını kıyaslamaktır. Diğer yöntemlerin sonuçları verilirken 6 çeşit DVR modelinden sadece en iyi DVR modeli için sonuç verilecektir.



Şekil 3. Gerçek ve kübik DVR modelinin tahmin ettiği baca gazı sıcaklığı

Tablo 2’den de görüldüğü gibi önerilen öznelik elde etme yöntemi diğer yöntemlere göre daha başarılı olmuştur. Tablo 1 ve 2 birlikte değerlendirildiğinde uzamsal yoğunluk dağılımının özneliklerinin alev karakteristiğini ortaya koymada çok etkin olduğu sonucuna ulaşılabılır.

Tablo 2. Önerilen öznelik çıkarma yöntemi ve diğer yöntemlerin kıyaslanması

	Öznelik Yöntemi	DVR Regresyon Yöntemi	R	RMSE
Önerilen	$HX'Y'$	Kübik	0,97	8,12
Diğerleri	$\mu, \sigma, \gamma_s, \gamma_k$ (González-Cencerrado et al. 2012)	Kübik	0,82	114,46
	$H(0 - 255)$ (Baek et al. 2001)	Doğrusal	0,75	132,08
	$H(0 - 85)$ (Baek et al. 2001)	Doğrusal	0,74	132,89
	$H(30 - 65)$ (Baek et al. 2001)	İnce Gauss	0,59	162,28
	μ (Liu et al. 2016; Zhou et al. 1994)	İkinci Dereceden	0,39	187,68

5. Sonuç ve Öneriler

Bu deneysel çalışmada alev görüntüsünün uzamsal yoğunluk dağılımının alev karakteristiğini iyi derecede yansıttığı gösterilmiştir. Deneysel çalışmada baca gazı sıcaklığı tahmini yüksek olup yanma kontrol sistemlerinde kullanılabileceğini göstermiştir. Doğrusal olmayan alev görüntüsü öznelikleri ile baca gazı sıcaklığı arasında ilişki ortaya konulurken kübik DVR modeli yüksek ilişki oranıyla öne çıkmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar alev görüntüsü ve DVR modeli ile baca gazı sıcaklığının

tahmin edilebileceğini göstermektedir. CCD kameralar zaten emisyon kontrolü ve kazanın izlenip kontrol edilmesi için kullanıldığı için önerilen yöntem bu sistemlere baca gazı sıcaklığı tahmini bileşenini eklemeyi mümkün kılmaktadır. Böylece yüksek baca gazı sıcaklığından kaynaklanan verim düşümü önlenerek hem kazan verimi artırılır hem de düşük sıcaklıkta oluşan H_2SO_4 oluşumu önlenerek kazanda korozyona sebep olmayacak şekilde ayarlama yapılmasına imkân verir. İleride farklı kapasitedeki kazanlar ile yapılacak çalışmalarda alev görüntüsü ile baca gazı sıcaklığı arasındaki ilişkinin kazanın kapasitesinden nasıl etkilendiği araştırılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, Proje no: 117M121) ve MIMSAN AŞ tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

- Baek, W. B., S. J. Lee, S. Y. Baeg, and C. H. Cho. 2001. "Flame Image Processing & Analysis for Optimal Coal Firing of Thermal Power Plant." *{ISIE 2001: IEEE International Symposium on Industrial Electronics Proceeding, Vols I-III}* {928-931}.
- Bilgin, Abdullah. 2011. "Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyonlar." Pp. 59–65 in *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. İzmir: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- Bonefacic, Igor, Paolo Blecich, I. Bonefačić, and -P Blecich. 2015. *Two-Color Temperature Measurement Method Using BPW34 PIN Photodiodes*. Vol. 35.
- Conti, John, Paul Holtberg, Jim Diefenderfer, Angelina LaRose, James T. Turnure, and Lynn Westfall. 2016. *International Energy Outlook 2016 With Projections to 2040*.
- GoldsWorthy, P., D. J. Eyre, and E. On. 2013. *Value-in-Use (VIU) Assessment for Thermal and Metallurgical Coal*. Vol. 2.
- Golgiyaz, Sedat, Muhammed Fatih Talu, and Cem Onat. 2016. "Estimation of Excess Air Coefficient for Automated Feed Coal Burners with Image-Based Gauss Model." Pp. 528–31 in *International Conferece on Artificial Intelligence and Data Processing, IDAP'16*. Malatya-Turkey.
- González-Cencerrado, A., A. Gil, and B. Peña. 2013. "Characterization of PF Flames under Different Swirl Conditions Based on Visualization Systems." *Fuel* 113:798–809.
- González-Cencerrado, A., B. Peña, and A. Gil. 2012. "Coal Flame Characterization by Means of Digital Image Processing in a Semi-Industrial Scale PF Swirl Burner." *Applied Energy* 94:375–84.
- Hanbay, Kazim, Sedat Golgiyaz, and Muhammed Fatih Talu. 2017. "Real Time Fabric Defect Detection System on Matlab and C++/Opencv Platforms." Pp. 1–8 in *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*. IEEE.
- Huang, Benyuan, Zixue Luo, and Huaichun Zhou. 2010. "Optimization of Combustion Based on Introducing Radiant Energy Signal in Pulverized Coal-Fired Boiler." *Fuel Processing Technology* 91(6):660–68.
- Jiang, Zhi-Wei Wei, Zi-Xue Xue Luo, and Huai-Chun Chun Zhou. 2009. "A Simple Measurement Method of Temperature and Emissivity of Coal-Fired Flames from Visible Radiation Image and Its Application in a CFB Boiler Furnace." *Fuel* 88:980–87.
- Krabicka, Jan, Gang Lu, and Yong Yan. 2010. "A Spectroscopic Imaging System for Flame Radical Profiling." Pp. 1387–91 in *2010 IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference Proceedings*. IEEE.
- Li, Nan, Gang Lu, Xinli Li, and Yong Yan. 2014. "Prediction of Pollutant Emissions of Biomass Flames Using Digital Imaging, Contourlet Transform and Radial Basis Function Network Techniques." *Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference* 697–700.
- Li, Nan, Gang Lu, Xinli Li, and Yong Yan. 2016. "Prediction of NOx Emissions from a Biomass Fired Combustion Process Based on Flame Radical Imaging and Deep Learning Techniques." *Combustion Science and Technology* 188(2):233–46.
- Liu, Zhuwei, Shu Zheng, Zixue Luo, and Huaichun Zhou. 2016. "A New Method for Constructing Radiative Energy Signal in a Coal-Fired Boiler." *Applied Thermal Engineering* 101:446–54.
- Lou, Chun, Huai Chun Zhou, Peng Feng Yu, and Zhi Wei Jiang. 2007. "Measurements of the Flame Emissivity and Radiative Properties of Particulate Medium in Pulverized-Coal-Fired Boiler Furnaces by Image Processing of Visible Radiation." *Proceedings of the Combustion Institute* 31 II:2771–78.
- Parveen, Nusrat, Sadaf Zaidi, and Mohammad Danish. 2017. "Development of SVR-Based Model and Comparative Analysis with MLR and ANN Models for Predicting the Sorption Capacity of Cr(VI)." *Process Safety and Environmental Protection* 107:428–37.
- Peña, B., C. Bartolomé, and A. Gil. 2017. "Analysis of Thermal Resistance Evolution of Ash Deposits during Co-Firing of Coal with Biomass and Coal Mine Waste Residues." *Fuel* 194:357–67.
- Qi, Minfang, Huageng Luo, Peijun Wei, and Zhongguang Fu. 2018. "Estimation of Low Calorific Value of Blended Coals Based on Support Vector Regression and Sensitivity Analysis in Coal-Fired Power Plants." *Fuel* 236:1400–1407.
- Quej, Victor H., Javier Almorox, Javier A. Arnaldo, and Laurel Saito. 2017. "ANFIS, SVM and ANN Soft-Computing Techniques to Estimate Daily Global Solar Radiation in a Warm Sub-Humid Environment." *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 155:62–70.
- Vapnik, Vladimir N. 2000. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer.
- Wang, F., X. J. Wang, Z. Y. Ma, J. H. Yan, Y. Chi, C. Y. Wei, M. J. Ni, and K. F. Cen. 2002. "The Research on the Estimation for the NOxemissive Concentration of the Pulverized Coal Boiler by the Flame Image Processing Technique." *Fuel* 81(16):2113–20.

- Wang, Zhichao, Min Liu, Mingyu Dong, and Lian Wu. 2017. "Riemannian Alternative Matrix Completion for Image-Based Flame Recognition." *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 27(11):2490–2503.
- Wu, Feng, Hao Zhou, Tao Ren, Ligang Zheng, and Kefa Cen. 2009. "Combining Support Vector Regression and Cellular Genetic Algorithm for Multi-Objective Optimization of Coal-Fired Utility Boilers." *Fuel* 88:1864–70.
- Xiangyu, Zhang, Zheng Shu, Zhou Huaichun, Zhang Bo, Wang Huajian, and Xu Hongjie. 2016. "Simultaneously Reconstruction of Inhomogeneous Temperature and Radiative Properties by Radiation Image Processing." *International Journal of Thermal Sciences* 107:121–30.
- Xiangyu, Zhang, Lu Xu, Yang yu, Zhang Bo, and Xu Hongjie. 2018. "Temperature Measurement of Coal Fired Flame in the Cement Kiln by Raw Image Processing." *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*.
- Zhou, H., Han, C. 1994. "An Exploratory Investigation of the Computer-Based Control of Utility Coal-Fired Boiler Furnace Combustion." Pp. 111–16 in *J. Eng. Therm. Energy Power*.



Temel Bileşen Analizi Yöntemleri Kullanarak Parkinson Hastalığının Otomatik Teşhisi

Şule Yücelbaş^{1*}, Cüneyt Yücelbaş²

¹ Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6758-8502)

² Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4005-6557)

(İlk Geliş Tarihi 21 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 1 Haziran 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.568544)

ATIF/REFERENCE: Yücelbaş, Ş., & Yücelbaş, C. (2019). Temel Bileşen Analizi Yöntemleri Kullanarak Parkinson Hastalığının Otomatik Teşhisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 294-300.

Öz

Parkinson rahatsızlığı çok yavaş ilerleyen sinsi bir beyin hastalığıdır. Bu hastalığın teşhis yöntemleri arasında, kişilere ait seslerin analizi de bulunmaktadır. Ses analizi ile Parkinson'un erken teşhisi, kullanılan çeşitli yöntemler sayesinde mümkün olmaktadır. Bu çalışma kapsamında 188 Parkinson hastası ve 64 sağlıklı kişiye ait kaydedilmiş ses sinyallerine Ayarlanabilir Q-faktör Dalgacık Dönüşümü (AQDD) metodu uygulanması sonucunda elde edilen özellikler kullanılmıştır. AQDD özelliklerine, boyut indirgeme yöntemlerinden temel bileşen analizi (TBA) ve bunun çeşitlerinden olan kernel TBA (KTBA) ile olasılıksal TBA (OTBA) uygulanmıştır. Daha sonra boyutları indirgenen yeni veri gruplarına ayrı ayrı k-kat çapraz doğrulama yöntemi uygulanarak eğitim-test verileri elde edilmiştir. Sonraki aşamada ise, boyut indirgeme yöntemlerinin etkinliğinin araştırılması için veriler Rastgele Orman (RO) algoritması ile ayrı ayrı sınıflandırılmış ve elde edilen sonuçlar ayrıca istatistiksel ölçütlerle yorumlanmıştır. Sınıflandırma sonuçları açısından boyut azaltma yöntemleri içerisinde en başarılısı %87.56 doğruluk oranı ile OTBA olmuştur. Ayrıca bu yöntem sonucunda ROC ve PRC alan değerleri yaklaşık 0.95 bandına ulaşarak hasta ve sağlıklı sınıf ayrışımının mükemmel yaklaştığını kanıtlamıştır. Gerçek yaşam uygulamalarına uygun olan bu çalışmanın performans sonuçları, aynı verinin kullanıldığı literatürdeki tek çalışma ile kıyaslanmış ve bu çalışmada diğer çalışmaya nazaran daha yüksek istatistiksel oranların elde edildiği görülmüştür. Ayrıca verilerin kaydedildiği kişi sayısının literatürdeki diğer çalışmalara göre yüksek oluşu, çalışmanın bu alandaki önemini arttırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Parkinson hastalığı, boyut indirgeme yöntemleri, AQDD, TBA.

Automatic Diagnosis of Parkinson's Disease Using Principal Component Analysis Methods

Abstract

Parkinson's disease is a sneaky brain disorder that progresses very slowly. The diagnostic methods of this disease include the analysis of individual voices. The earliest detection of Parkinson's with voice analysis is made possible by various methods. In this study, the results obtained from the application of Tunable Q-factor Wavelet Transformation (TQWT) method to the recorded audio signals of 188 Parkinson's patients and 64 healthy individuals were used. The principal component analysis (PCA) and its types (kernel PCA (KPCA) and Probabilistic PCA (PPCA)) which are dimension reduction methods have been applied to the TQWT features. Afterwards, k-fold cross validation method was applied to the new data groups and the training-test data were obtained. In the next step, the data were separately classified by random forest (RF) algorithm to investigate the effectiveness of the dimension reduction methods and the results were also interpreted by statistical criteria. In terms of classification results, OTBA was the most successful in size reduction methods with 87.56% accuracy rate. In addition, as a result of this method, ROC and PRC area values reached a band

* Sorumlu Yazar: Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6758-8502, suleyucelbas@hakkari.edu.tr

of about 0.95, proving that patient and healthy class decomposition approached perfection. The performance results of this study, which is suitable for real-life applications, were compared with the single study in the literature in which the same data was used, and this study showed that higher statistical ratios were obtained in comparison to the other study. Moreover, the high number of people in whom the data was recorded compared to other studies in the literature increases the importance of the study in this field.

Keywords: Parkinson's disease, dimension reduction methods, TQWT, PCA

1. Giriş

Parkinson hastalığı (PH), beyinde dopamin üretmekle görevli hücrelerin eksikliğinde ortaya çıkan bir rahatsızlıktır [1, 2]. Beynin ilgili bölgesinde bulunan hücrelerin zarar görmesi sonucunda dopamin yeteri kadar üretilmez. Bundan dolayı kişinin hareketleri yavaşlar, dinlenme anında titremeler görülür ve kaslarda sertlik meydana gelir [1, 2]. Bu hastalık, 40 yaşını geçmiş erkeklerde daha sık görülür. Bayanlarda görülme oranı erkeklere göre daha azdır. PH kronik bir hareket bozukluğu olup belirtiler zamanla kendini gösterir. Beyinde üretilen dopamin miktarı azaldıkça bu rahatsızlık da ilerleme kat eder ve hastalık belirtileri daha yoğun olarak görülür. Ancak ortaya çıkan belirtiler kişiye göre değişiklik gösterebilir [1, 2]. PH'nin birincil motor belirtileri vücutta titremeler, hareket duraklanması, vücudun çeşitli organlarında sertlik ve dengesizliktir. Bazı hastalarda ise belirti olarak sadece tek bir elin titremesi görülür. Hastalığın başlangıç aşamasında çoğunlukla vücudun tek tarafında belirtiler başlar ve zamanla diğer semptomlar da kendini göstermeye başlar [1-5]. Ayrıca kişinin yüz mimiklerinde azalma, suratta donuk bir ifade ve uyku bozuklukları da görülebilmektedir. Bu durum kişilerde ses ve telaffuz bozukluklarına da yol açmaktadır. Bu hastalığın kimlerde yavaş veya hızlı ilerleyeceğini önceden tespit edebilmek şu an için imkân dâhilinde değildir [1-5].

PH'nin teşhisinde belirli bir test yoktur. Alanında uzman bir nörolog hastanın tıbbi geçmişini, klinik bulgularını ve fiziki muayenesini analiz ederek PH'yi teşhis edebilmektedir [5, 6]. Bu hastalığın tedavisinde asıl amaç kişinin aktif, bağımsız ve kendi ihtiyaçlarını kendisinin yapabilir duruma gelmesini sağlamaktır. Günümüzde kesin bir tedavisi olmamasına rağmen, kişilere verilen sınırlı medikal destek ile belirtilerin kontrol altına alınması hedeflenmektedir [5, 6]. Bu kişilere ayrıca akıllı egzersiz uygulamaları, denge hareketleri ve yaşam tarzı değişiklikleri faydalı olabilmektedir. Konuşmasında bozukluklar meydana gelmiş hastaların konuşma ve dil uzmanları eşliğinde konuşma egzersizleri yapmaları faydalı olabilmektedir. Bunun yanında cerrahi tedavi de uygulanabilmekte, fakat genellikle ilk tercih edilen yol olmamaktadır [5-7]. Ancak hastalığın düzeltilmediği ve medikal destek ile yapılan rehabilitasyon işlemlerine rağmen bir sonuç elde edilemediği durumlarda bu yöntemle başvurulabilmektedir [7].

Tıbbi literatürde PH'nin teşhis ve tedavisi için birçok yayın mevcuttur. Mühendislik alanında ise bu hastalığın uzman sistemler tarafından otomatik teşhisine odaklanılmıştır. Bu amaçla, çoğunlukla kişilerden alınan ses veya yürüme kayıtları kullanılmıştır. Daha önceden de belirtildiği gibi Parkinson hastalarının büyük çoğunluğunda (yaklaşık %90) hastalığın erken evrelerinde görülen ve en önemli belirtilerden biri olan telaffuz bozuklukları ortaya çıkmaktadır [8, 9]. Bu nedenle, PH'nin otomatik olarak teşhisinde ses ile ilgili özellikler uzman sistemlerde yaygın olarak kullanılmıştır. Ses sinyallerini kullanarak gerçekleştirilen yayınlardaki asıl amaç, ilgili ses özelliklerini kullanarak hastaların sağlıklı kişilerden otomatik olarak ayırt edilmesidir [9-13].

Mühendislik alanında yapılan otomatik Parkinson hastalığının tespiti için tasarlanan sistemler araştırmacılar tarafından telediagnosis olarak tanımlanmıştır. Telediagnosis sisteminin tasarlandığı çalışmalardan biri Sakar ve Kursun (2010) tarafından sunulmuş ve sistem dâhilinde sınıflandırıcı olarak DVM kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiştir [10]. Bu alanda aynı amaç doğrultusunda yapılan bir diğer çalışmada ise, 4 farklı sınıflandırıcının (Sinir ağları, DM sinir ağları, regresyon ve karar ağaçları) sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir [14]. Benzer bir çalışmada da paralel ileri beslemeli sinir ağları mimarisi üzerinde odaklanılarak çeşitli ağ yapılarının otomatik PH tespiti üzerindeki etkisi araştırılmıştır [15]. Sakar ve arkadaşları, hasta ve sağlıklı deneklerin ses kayıtlarından bazı özellikleri çıkardıktan sonra sınıflandırıcılar aracılığı ile elde ettikleri sonuçları analiz etmişlerdir [16]. Aynı amaç doğrultusunda sunulan benzer bir çalışmada da sadece sınıflandırıcı olarak bulanık k-en yakın komşu algoritmasından yararlanılmıştır [17]. Bu çalışmaya çok benzer başka bir çalışmada ise farklı olarak sadece parçacık sürü optimizasyon temelli bulanık k-en yakın komşu sistemi kullanılarak ortalama %97.47 doğruluk oranı elde edilmiştir [18]. Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında; PH teşhisinde çıkarılan vokal özelliklerin sistem üzerindeki etkinliği makine öğrenme teknikleri ile analiz edilmiş ve en iyi sonuç DVM'de %96.4 olarak elde edilmiştir [19]. Bir başka çalışmada çeşitli sınıflayıcı sistemleri (lineer diskriminant analizi, k-en yakın komşu, naive bayes, regresyon ağaçları, radyal temelli fonksiyon sinir ağları, DVM, Mahalanobis uzaklığı) denenmiş ve en iyi sonuca %92 ile DVM'de ulaşılmıştır [20]. Bu alanda literatürde gerçekleştirilmiş çalışmaların ortak noktaları özetle; veri kaydı, veri işleme, özellik çıkarma, özellik seçme ve sınıflandırma olarak görülmektedir. Amaç olarak ise, genellikle PH'nin yüksek doğrulukla otomatik sınıflandırılmasına odaklanılmıştır. Literatür incelendiğinde kullanılan özellikler üzerinde boyut değiştirme ve indirgeme yöntemlerinin yeteri kadar araştırılmadığı, bunların sistemler üzerindeki etkilerinin incelenmediği görülmüştür.

Bu çalışmada İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nöroloji Bölümünde kaydedilmiş 188 Parkinson hastası ve 64 sağlıklı kişiye ait ses sinyallerine Ayarlanabilir Q-faktör Dalgacık Dönüşümü (AQDD) metodu uygulanması sonucunda elde edilen özellikler kullanılmıştır [21]. Bu özelliklere boyut indirgeme yöntemlerinden temel bileşen analizi (TBA) ve bunun çeşitlerinden olan kernel TBA (KTBA) ile olasılıksal TBA (OTBA) uygulanmıştır. Daha sonra bu veriler k-kat çapraz doğrulama yöntemi aracılığıyla eğitim ve test grupları elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, boyut indirgeme yöntemlerinin etkisinin araştırılması için elde edilen veriler Rastgele Orman (RO) sistemi ile sınıflandırılmış ve sonuçlar doğru pozitif oranı veya recall (DPO), yanlış pozitif oranı (YPO), kesinlik veya hassasiyet (Precision), F skor (F), ROC alanı, PRC (Precision-Recall) alanı ve ortalama sınıflandırma doğruluğu (OSD) gibi ölçütlerle değerlendirilmiştir. Sınıflandırma sonuçları açısından boyut azaltma yöntemleri içerisinde en başarılısı %88 doğruluk oranı ile OTBA olmuştur. Ayrıca bu yöntem sonucunda ROC ve PRC alan değerleri yaklaşık 0.95 ile hasta ve sağlıklı sınıf ayrışımının mükemmelle yaklaşımını kanıtlamıştır. Gerçek yaşam uygulamalarına uygun olan bu çalışmanın performans sonuçları, aynı verinin kullanıldığı literatürdeki tek çalışma [21] ile kıyaslanmış ve bu çalışmada diğer çalışmaya nazaran daha yüksek istatistiksel oranların elde edildiği görülmüştür.

2. Materyal ve Yöntem

Parkinson hastalığının bilinen sebebi beynin, kasları kontrol eden iletişim mekanizmasının yavaş bir şekilde bozulmasıdır. Konuşmayı sağlayan yüz kasları da bu durumdan etkilendiği için hastaların telaffuzları çoğunlukla daha yumuşak ve tekdüze hale gelir. Buna bağlı olarak kişiler bazı sesleri çıkarmakta ve söylemekte zorlanırlar [22]. Hastalığın bu belirtisinden dolayı çalışma kapsamında İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nöroloji Bölümünde yaşları 33 ile 87 arasından değişen 188' i Parkinson hastası ve 64' ü sağlıklı olmak üzere toplam 252 kişiye /a/ harfi üçer kez tekrarlatılarak kayıt altına alınan veriler kullanılmıştır [21].

Parkinson'un tespitinde kişilerin kayıt altına alınmış ses sinyallerine birçok sinyal işleme ve özellik çıkarma yöntemi uygulanabilir. Bu yöntemlerden biri de ayarlanabilir AQDD dir [23]. Verilerin alındığı referansta [21] en iyi sonuçlar AQDD yöntemi ile elde edildiğinden bu çalışmada da bu yöntemin uygulanması neticesinde elde edilen özellik grubu kullanılmıştır. AQDD yönteminin uygulanması sonucunda her bir veriden 36 alt-bant elde edilmiş ve her banttan da 12 farklı özellik (enerji, shannon entropi, log enerji entropi, Teager-Kaiser enerji operatörü (TKEO) ortalaması, TKEO standart sapması, medyan, ortalama, standart sapma, minimum, maksimum, skewness ve kurtosis) çıkarılmıştır [21, 24-31]. Böylelikle her data kendi içinde $36 \times 12 = 432$ boyuttan oluşmuştur. Ayrıca her deneğe /a/ harfi üçer kez tekrarlatılarak kayıt altına alındığından $252 \times 3 = 756$ adet veri üzerinden çalışma yürütülmüştür. Buna göre toplam veri 756x432 olarak elde edilmiştir. Daha sonra 432 boyutlu bir veri, uzman sistemin çalışmasını ağırlaştıracağından bu veri seti üzerinde TBA, KTBA ve OTBA boyut indirgeme yöntemleri uygulanmıştır. Bunların sonucunda elde edilen yeni boyutlu datalardan eğitim-test grupları oluşturmak amacıyla 10-kat çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Son olarak eğitim-test veri setleri RO algoritmasına girdi olarak verilerek uzman sistem sonuçlandırılmıştır.

2.1. TBA, KTBA ve OTBA Boyut İndirgeme Yöntemleri

Bu çalışma kapsamında kullanılan ilk boyut azaltma yöntemi TBA olmuştur. Bu yöntem, yeni değerler oluşturmak suretiyle verinin boyut sayısını hesaplamak ve azaltmak için başvurulan etkili bir veri analiz metodudur [32, 33]. Standart bir TBA algoritmasında üzerinde çalışılacak verilerin gerekli işlemler sonucunda elde edilmesi ilk adım olarak kabul edilir. Sonraki aşamada, veriye ait ortalama değer her elemandan çıkarılarak merkezleme işlemi gerçekleştirilir. Daha sonraki aşamada kovaryans matrisi, iki veya daha fazla rastgele değişken kümesi arasındaki korelasyonun gücünün bir ölçüsünü sağlamak için hesaplanır. Dördüncü adımda ise, kovaryans matrisinin öz vektörleri ve öz değerleri hesaplanır. Beşinci aşamada bileşenler seçilerek bir özellik vektörü oluşturulur. Burada en yüksek öz değere sahip öz vektör, veri kümesinin temel bileşeni olarak belirlenir. Son aşamada ise, boyutu değiştirilmiş yeni veri seti elde edilmiş olur [33].

Uygulaması gerçekleştirilen diğer TBA çeşidi ise KTBA yöntemidir. Bu metod, standart TBA'nın bir uzantısı olup doğrusal olmayan veri dağılımları için kullanılmaktadır [34-36]. Kısaca KTBA, kernel tanımlı bir özellik uzayında standart TBA'nın bir uygulama çeşididir. Bu TBA yönteminde; U_k özellik uzayında ilk öz vektörler tarafından kapsanan alt-uzayı ifade etsin. Bu alt-uzay içerisinde yeni verinin k-boyutlu vektör yansıması aşağıdaki gibi hesaplanabilir [37];

$$P_{U_k}(\phi(X)) = \left(\sum_{i=1}^l \alpha_i^j k(x_i, x) \right)_{j=1}^k \quad (1)$$

burada;

$$\alpha^j = \lambda_j^{-1/2} v_j \quad (2)$$

denklemi ile kernel matrisinin ilgili öz vektör ve öz değerleri cinsinden verilmiştir. Kısaca denklem (1) KTBA'nın temelini oluşturmaktadır [37].

Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin sonucusu ise OTBA'dır. Uzman sistemlerin başarısı çıkarılan özelliklerin seçimine ve hatalı verilerin temizlenmesine bağlıdır. Ancak veri setleri içerisinde sistem performansını etkileyen hatalı-eksik verilerin tespit edilmesi zor ve zahmetli bir işlemdir. Bu tür problemlerde uygulanabilecek TBA yöntemi, OTBA olmuştur. Bu metod sayesinde en yüksek kovaryans değerindeki yansıtılmış vektörler çıkarılır. Bu vektörler daha sonra özellik matrisinin boyutunu azaltmak için kullanılır [38]. OTBA yoluyla oluşturulabilecek giriş verileri şu şekilde formüle edilebilir [39];

$$y_s = \tau x_s' + \mu + \xi(s) : s \in \{1, 2, \dots, M\} \quad (3)$$

burada y_s , $R \times 1$ boyutuna sahip gizli rastgele değişkenlerin bir vektörünü temsil eder. y_s 'nin, bağımsız olduğu ve aynı şekilde sıfır ortalama ve 1 varyansına sahip olduğu varsayılır. Ayrıca, τ Giriş gözlemleri ve gizli uzay arasındaki eşleşmeyi gösteren bir $C \times R$ parametre matrisidir. Kısaca, doğrusal bir haritalama türüdür. μ , her değişkenin ortalamasına sahip olan bir $C \times 1$ parametre vektörüdür. $\xi(s)$ $C \times 1$ boyutuna sahip bir vektördür ve rastgele hataları temsil eder. Varyansı ve ortalaması sıfır olduğu, bağımsız ve aynı şekilde normal dağılmış olduğu varsayılmıştır [38].

2.2. k-Kat Çapraz Doğrulama Yöntemi

Bu yöntem eğitim ve test veri ayırma işlemi için kullanılan genel bir tekniktir. Bu teknikte ilk olarak k sayısı belirlenir. Belirlenen k sayısına göre veri seti k-tane alt kümeye ayrılır. Alt kümelerden bir tanesi test, diğer k-1 tanesi ise eğitim için ayrılarak sistem çalıştırılır. Daha sonra bir başka alt küme test için ayrılırken diğerleri eğitim için ayrılır ve sistem bir kez daha çalıştırılır. Bu şekilde her alt küme test ve eğitim verisi olarak kullanılmış olur. Bu yöntemde amaç hazırlanan veri setindeki her verinin test ve eğitim

işlemine tabi tutulmasıdır. Tüm aşamalar bittikten sonra her adımda elde edilen başarı ve hata oranlarının ortalaması hesaplanır ve genel bir başarı oranı elde edilir. Bu çalışmada 10-kat çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır.

2.3. Sınıflandırma İşlemi ve Performans Ölçütleri

Uzman sistemler günümüzde birçok alanda gerçek uzman gibi davranan, düşünen, tepki verip sonuca ulaşan yapay zekâ temelli algoritmalar bütünüdür. Bu sistemlerden beklenen, hızlı ve yüksek doğrulukta sonuç üretmeleridir. Çünkü uzman sistemlerin oluşturulması ve kullanılmasının en büyük sebebi, kullanıldığı alandaki bir eksikliği ya da kararsızlığı gidermektir. Sağlık alanında başvuru uzman sistemler, hasta ve sağlıklı deneklere ait ilgili verilerin analizinin yapılması sonucunda bunları birbirinden hızlı ve yüksek doğrulukta ayırt edebilmektedir. Bu işlemler uzman sistem bünyesinde bulunan sınıflandırıcı algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Bu amaç ile gerçekleştirilen çalışma içerisinde Parkinson hastalığının otomatik teşhisi için birçok sınıflandırıcı (yapay sinir ağları, sıralı minimal optimizasyon temelli destek vektör makinaları, basit lojistik, J48 ve RO) denenmiş ancak en iyi performans sonuçları RO [40] algoritması ile elde edilmiştir. Kullanılan bu sınıflayıcı sistemin çalıştırılması ve ulaşılan performans sonuçlarının değerlendirilmesi Weka 3.8 arayüz yazılımı [41] bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan uzman sistem kullanılmadan önce, 10-kat çapraz doğrulama yöntemi ile eğitim-test verileri oluşturulmuştur. Ayrıca veri setleri içerisinde hasta olanlar 0, sağlıklı olanlar ise 1 olarak etiketlenerek sistem çalıştırılmıştır. En iyi sonuçların elde edildiği RO algoritmasının sistem parametreleri ise varsayılan olarak (BagSizePercent:100, BatchSize:100, MaxDepth:0, NumDecimalPlaces:2, NumExecutionSlots:1, NumFeatures:0, NumIterations:100 ve Seed:1) seçilmiştir. Kullanılan performans ölçütleri oluşturulan uzman sistem tarafından doğru ve yanlış olarak tespit edilen veri sayılarına göre oluşturulmuş konfüzyon (karışıklık) matrisine göre yapılmıştır. Konfüzyon matrisi temelde hedef değerler ile sistem tarafından elde edilen değerlere bakarak bir sınıflayıcı algoritmanın performans sonuçlarını değerlendirmek için bu alanda en çok başvuru bir araçtır. Bu matristeki veriler kullanılarak DPO, YPO, Precision, F, ROC, PRC ve OSD ölçütleri elde edilmiştir [42-46].

3. Araştırma Sonuçları

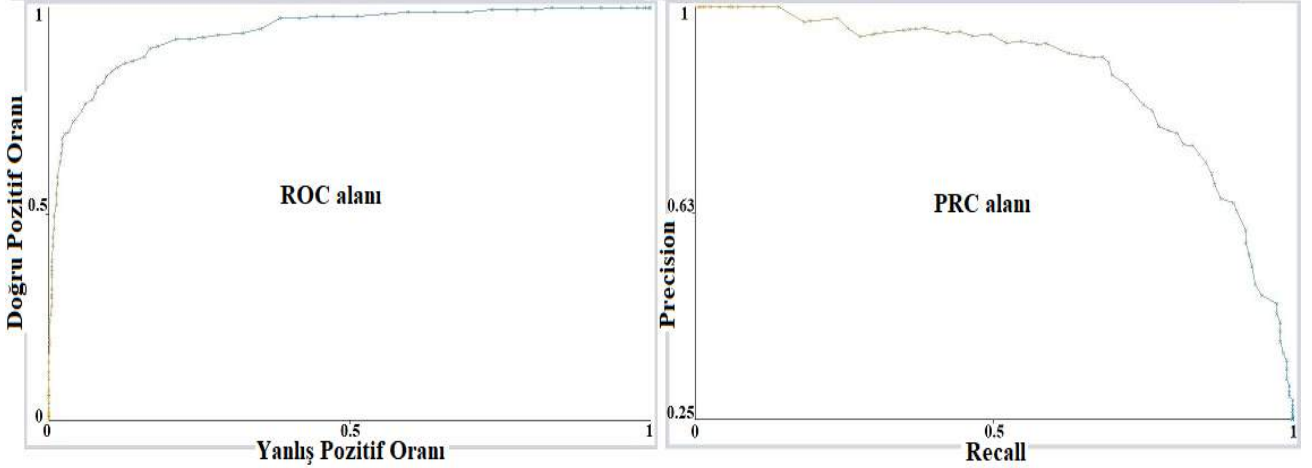
Bu çalışmada bir uzman eşliğinde önceden veri kayıtları yapılmış 188 Parkinson hastası ve 64 sağlıklı olmak üzere toplamda 252 kişi denek olarak ele alınmıştır [21]. Bu deneklere ait kaydedilmiş ses verilerinden çıkarılmış özellik grupları arasından en iyi sonuçların elde edildiği AQDD yöntemine ait özellik grubu [21] çalışma kapsamında kullanılmıştır. Bu özellik grubu üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak 756x432 boyutunda yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Sonraki aşamada ise, TBA ve bunun 2 farklı yöntemi 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 boyutları için çalıştırılmış ve her yöntem için farklı boyutlarda yeni veri grupları elde edilmiştir. Daha sonra bu yeni boyutlu veri gruplarına tek tek 10-kat çapraz doğrulama yöntemi uygulanarak eğitim-test verileri oluşturulmuştur. Sistemin son aşamasında ise bu veriler RO sınıflandırıcısına girdi olarak verilerek konfüzyon matrisi elde edilmiştir. Bu matristeki sonuç verilerinin değerlendirilmesi neticesinde ulaşılan performans değerlendirme kıstaslarına ait sistem sonuçları ayrıntılı olarak aşağıdaki Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Sistem tarafından TBA ve çeşitlerine göre elde edilen performans sonuçları

(*:Toplam Örnek Sayısı:TÖS - Doğru Sınıflandırılan Örnek Sayısı:DSÖS - Doğru Pozitif Oranı:DPO - Yanlış Pozitif Oranı:YPO- Kesinlik veya hassasiyet:Precision - F-skor:F - Receiver Operating Characteristic alanı:ROC - Precision-Recall alanı:PRC - Ortalama Sınıflandırma Doğruluğu:OSD)

Sonuçlar*	TÖS	DSÖS	DPO	YPO	Precision	F	ROC	PRC	OSD (%)
TBA 10	756	638	0.844	0.366	0.838	0.832	0.875	0.899	84.391
TBA 15	756	634	0.839	0.395	0.834	0.824	0.862	0.889	83.862
TBA 20	756	651	0.861	0.329	0.858	0.852	0.892	0.909	86.111
TBA 25	756	650	0.860	0.353	0.860	0.848	0.895	0.913	85.978
TBA 30	756	641	0.848	0.385	0.847	0.833	0.900	0.915	84.788
TBA 35	756	647	0.856	0.379	0.859	0.841	0.894	0.911	85.582
TBA 40	756	645	0.853	0.380	0.855	0.838	0.887	0.905	85.317
KTBA 10	756	562	0.743	0.678	0.687	0.676	0.566	0.655	74.338
KTBA 15	756	564	0.746	0.691	0.692	0.671	0.563	0.651	74.603
KTBA 20	756	563	0.745	0.719	0.680	0.655	0.528	0.644	74.470
KTBA 25	756	561	0.742	0.720	0.667	0.653	0.500	0.627	74.206
KTBA 30	756	566	0.749	0.718	0.706	0.657	0.550	0.649	74.867
KTBA 35	756	562	0.743	0.719	0.673	0.654	0.501	0.631	74.338
KTBA 40	756	561	0.742	0.720	0.667	0.653	0.537	0.650	74.206
OTBA 10	756	627	0.829	0.422	0.724	0.812	0.856	0.882	82.936
OTBA 15	756	646	0.854	0.369	0.854	0.841	0.889	0.903	85.449
OTBA 20	756	650	0.860	0.374	0.865	0.845	0.930	0.938	85.978
OTBA 25	756	644	0.852	0.366	0.850	0.839	0.910	0.923	85.185
OTBA 30	756	643	0.851	0.425	0.867	0.829	0.933	0.944	85.052
OTBA 35	756	662	0.876	0.341	0.883	0.863	0.940	0.948	87.566
OTBA 40	756	635	0.840	0.450	0.854	0.815	0.933	0.939	83.994

Tablo 1 incelendiğinde, TBA ve buna ait iki farklı çeşidi arasından en iyi performans sonuçlarının, OTBA'nın 35 boyutlu veri grubunda elde edildiği görülmektedir. Bu veri grubunda toplam 756 adet farklı girdinin 662 tanesi doğru tespit edilerek % 87.566 OSD oranı elde edilmiştir. Ayrıca YPO değerinin sıfıra yaklaşması ve DPO, Precision ile F performans sonuçlarının 1'e yakın çıkması bu OSD sonucunu istatistiksel olarak desteklemiştir. OTBA yönteminin 35-boyutlu veri setini, %86.111 OSD oranı ile 20 boyutlu TBA metodu takip etmiştir. Bu yöntemle ait diğer değerlendirme kıstasları, OTBA-35'e göre daha düşük olarak elde edilmiştir. Her iki yöntem ROC ve PRC ölçütleri açısından değerlendirildiğinde ise, OTBA-35'in üstünlüğü bir kez daha istatistiksel olarak kanıtlanmıştır. OTBA-35'e ait ROC ve PRC değerleri yaklaşık olarak 0.95 olarak elde edilmiş ve Şekil 1'de bu durum gösterilmiştir. Çalışma kapsamındaki verilere ait sınıfların bu iki değere göre birbirinden çok iyi bir şekilde ayrıştığı kanıtlanmıştır.

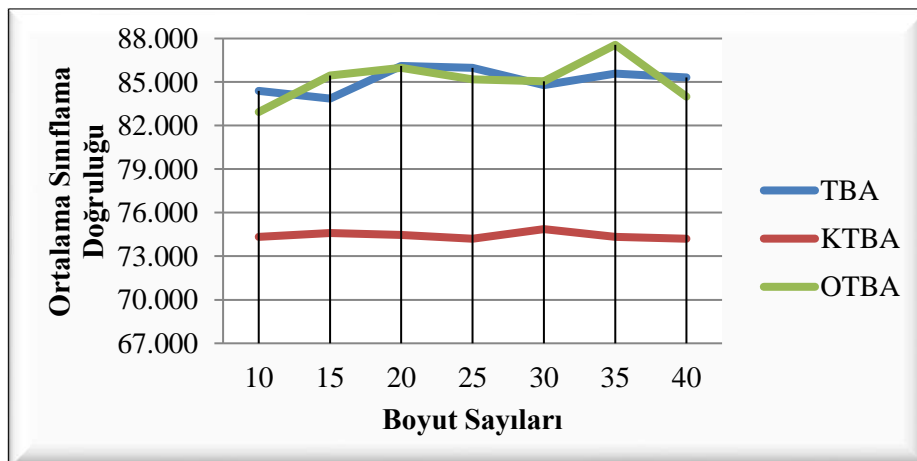


Şekil 1. OTBA-35 yöntemi sonucunda elde edilen ROC ve PRC grafikleri

OTBA ve TBA yöntemlerine göre en kötü sonuçlar KTBA'da elde edilmiştir. Bu TBA çeşidinde boyutlar arası performans kıstasları açısından önemli ölçüde bir fark olmadığı da görülmektedir.

4. Sonuç ve Tartışma

Günümüzde Parkinson gibi bazı kalıcı ve hasta hayatını zorlaştıran rahatsızlıkların önceden tahmin edilmesi ve bunlarla ilgili gerekli tedbirlerin alınması son derece önemlidir. Bu amaçla bir uzmana gerek kalmadan ilgili hastalıkların otomatik olarak tespit edilmesine yönelik araştırmalar önem kazanmaktadır. PH'nin teşhis edilmesinde deneklere ait ses kayıtlarının analizi alanında uzman kişiler tarafından kullanılan yöntemlerden biridir [47]. Eğer bu ses kayıtları çeşitli mühendislik uygulamaları ile işlenerek yüksek doğrulukta otomatik bir PH teşhis sistemleri geliştirilebilirse, bu sistemler hekimlerin kararını destekleyebilir, hatta medikal ve uzman yetersizliği bulunan bölgelerde ön araştırma amacıyla da kullanılabilir. Bu uzman sistemlerin çevrimiçi sürümleri de geliştirilebilirse, kişiler kendi evlerinde sisteme ses kayıtlarını yükleyerek hastalığın kendilerinde bulunup bulunmadığına dair ön tahmini herhangi bir tıbbi muayeneye gerek kalmadan gerçekleştirebilirler. Belirlenen sonuçlar neticesinde kişiler alanında uzman hekimlere yönlendirilebilir. Bu amaçla sunulan bu çalışmada kişilerin ses kayıtlarının girdi olarak kullanıldığı yüksek doğrulukta tepki verebilecek otomatik bir PH uzman sistemi önerilmiştir. Çalışma kapsamında, 188'i Parkinson hastası olmak üzere toplam 252 deneye aynı ifadenin üçer kez tekrarlanmasıyla alınan ses kayıtları kullanılmıştır [21]. Bu ses kayıtlarından çıkarılan AQDD özellikleri üzerinde TBA ve buna ait iki farklı boyut azaltma yönteminin kullanıldığı uzman bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistem bünyesinde RO algoritması karar mekanizması olarak kullanılmış ve elde edilen sonuçlar bazı değerlendirme kıstaslarıyla yorumlanmıştır. Analizleri yapılan TBA ve çeşitlerine ait ortalama sınıflandırma doğruluk oranları grafiksel olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. TBA, KTBA ve OTBA yöntemlerine ait %OSD değerleri

Şekil 2 incelendiğinde en iyi performansın OTBA'nın 35 boyutu için yaklaşık %88 olarak elde edildiği görülmektedir. OTBA-35 yönteminden sonra en iyi sonuç %86 OSD değerini geçen performansı ile TBA yönteminin 20 boyutunda elde edilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere en kötü performansı KTBA yöntemi sergilemiştir. Grafikte verilmemiş ancak sonuçlarda elde edilmiş yaklaşık 0.95 ile ROC ve PRC değerleri de OTBA-35'e ait performans çıktılarını desteklemiştir.

Aynı veri setinin kullanıldığı ve aynı zamanda bu verinin kaynağı konumunda olan araştırma [21] ile gerçekleştirilmiş bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar kısaca karşılaştırılmıştır. İlgili çalışmada [21] veriler üzerinde birçok yöntem ile özellikler çıkarılmıştır. Ancak her özellik grubu için en iyi sonucun alındığı sınıflayıcı sistem değişikliğe uğramıştır. Bu durum uzman sistemler için hem zaman hem de işlem karmaşıklığı açısından kısıtlayıcı niteliktedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise birçok sınıflayıcı denenerek bu seçenek en başından bire indirgenmiş, hem en hızlı hem de en yüksek performansı veren RO algoritması kullanılmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen bu çalışmada, ilgili araştırmada [21] belirtilen en iyi sonucun elde edildiği AQDD özellik grubu üzerinde çeşitli boyut indirgeme yöntemleri ile uzman sistemin veri yoğunluğu azaltılmaya ve aynı zamanda daha yüksek performans sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır. Bahsedilen araştırmada maksimum sınıflandırma performansı 50 özellik ile %86 olarak [21] elde edilmesine karşın bu çalışmada OTBA'nın 35 boyutu için yaklaşık %88 sınıflandırma sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanında ilgili çalışmadan [21] farklı olarak Precision, ROC ve PRC gibi önemli değerlendirme kıstasları ile bu çalışmaya ait performans sonuçlarının etkinliği desteklenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan veri sayısının literatüre göre fazla olması sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir. Bu alanda çalışan veya çalışmayı düşünen araştırmacılar daha fazla sayıdaki verilere farklı yöntemleri uygulayarak yüksek performans sonuçlarına ulaşmayı amaçlayabilirler. Ayrıca bu alandaki çevrimiçi sistemlerin geliştirilmesi de literatüre katkı olması ve çeşitli veri tabanlarının oluşturulması açısından önem arz etmektedir.

Kaynakça

- [1] K. Rana. (2014). *Parkinson Hastalığı* [Online]. Available: <http://www.noroloji.org.tr/TNDDData/Uploads/files/parkinson%20hastal%C4%B1%C4%9F%C4%B1.pdf>.
- [2] S. Özekmekçi, H. Apaydın, S. Oğuz, & İ. Zileli. (2013). *Parkinson Hastalığı Hasta ve Yakınları İçin El Kitabı*. İstanbul, Turkey: Baycınar Tıbbi Yayıncılık ve Reklam Hiz. Tic. Ltd. Şti, p. 98.
- [3] J. W. Langston. (2002). Parkinson's disease: current and future challenges. *Neurotoxicology*, vol. 23, no. 4-5, pp. 443-450.
- [4] J. Parkinso. (1817). An essay on the shaking palsy (Printed by Whittingham and Rowland for Sherwood, Neely, and Jones). ed: London.
- [5] J. Jankovic. (2008). Parkinson's disease: clinical features and diagnosis. *Journal of neurology, neurosurgery & psychiatry*, vol. 79, no. 4, pp. 368-376.
- [6] H. Gümüş, Z. Akpınar, & O. Demir. (2013). Erken evre Parkinson hastalığında motor olmayan semptomların değerlendirilmesi. *Türk Nöroloji Dergisi*, vol. 19, no. 3, pp. 97-103.
- [7] Y. Akgün & S. Peker. (2010). Tremor tedavisinde cerrahi girişimler. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, vol. 1 (3), no. 3, pp. 123-127.
- [8] B. Harel, M. Cannizzaro, & P. J. Snyder. (2004). Variability in fundamental frequency during speech in prodromal and incipient Parkinson's disease: A longitudinal case study. *Brain and cognition*, vol. 56, no. 1, pp. 24-29.
- [9] A. Tsanas, M. A. Little, P. E. McSharry, & L. O. Ramig. (2010). Accurate telemonitoring of Parkinson's disease progression by noninvasive speech tests. *IEEE transactions on Biomedical Engineering*, vol. 57, no. 4, pp. 884-893.
- [10] C. O. Sakar & O. Kursun. (2010). Teliagnosis of Parkinson's disease using measurements of dysphonia. *Journal of medical systems*, vol. 34, no. 4, pp. 591-599.
- [11] H. Gürüler. (2017). A novel diagnosis system for Parkinson's disease using complex-valued artificial neural network with k-means clustering feature weighting method. *Neural Computing and Applications*, vol. 28, no. 7, pp. 1657-1666.
- [12] M. A. Little, P. E. McSharry, E. J. Hunter, J. Spielman, & L. O. Ramig. (2009). Suitability of dysphonia measurements for telemonitoring of Parkinson's disease. *IEEE transactions on biomedical engineering*, vol. 56, no. 4, pp. 1015-1022.
- [13] M. Peker, B. Sen, & D. Delen. (2015). Computer-aided diagnosis of Parkinson's disease using complex-valued neural networks and mRMR feature selection algorithm. *Journal of healthcare engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 281-302.
- [14] R. Das. (2010). A comparison of multiple classification methods for diagnosis of Parkinson disease. *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 2, pp. 1568-1572.
- [15] F. Åström & R. Koker. (2011). A parallel neural network approach to prediction of Parkinson's Disease. *Expert systems with applications*, vol. 38, no. 10, pp. 12470-12474.
- [16] B. E. Sakar ve ark. (2013). Collection and analysis of a Parkinson speech dataset with multiple types of sound recordings. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 17, no. 4, pp. 828-834.
- [17] H.-L. Chen ve ark. (2013). An efficient diagnosis system for detection of Parkinson's disease using fuzzy k-nearest neighbor approach. *Expert systems with applications*, vol. 40, no. 1, pp. 263-271.
- [18] W.-L. Zuo, Z.-Y. Wang, T. Liu, & H.-L. Chen. (2013). Effective detection of Parkinson's disease using an adaptive fuzzy k-nearest neighbor approach. *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 8, no. 4, pp. 364-373.
- [19] B. E. Sakar, G. Serbes, & C. O. Sakar. (2017). Analyzing the effectiveness of vocal features in early teliagnosis of Parkinson's disease. *PloS one*, vol. 12, no. 8, p. e0182428.
- [20] S. Lahmiri, D. A. Dawson, & A. Shmuel. (2018). Performance of machine learning methods in diagnosing Parkinson's disease based on dysphonia measures. *Biomedical Engineering Letters*, vol. 8, no. 1, pp. 29-39.
- [21] C. O. Sakar ve ark. (2019). A comparative analysis of speech signal processing algorithms for Parkinson's disease classification and the use of the tunable Q-factor wavelet transform. *Applied Soft Computing*, vol. 74, pp. 255-263.

- [22] Ö. Eskidere. (2012). A Comparison Of Feature Selection Methods For Diagnosis Of Parkinson's Disease From Vocal Measurements. *Sigma*, vol. 30, pp. 402-414.
- [23] I. W. Selesnick. (2011). Wavelet transform with tunable Q-factor. *IEEE transactions on signal processing*, vol. 59, no. 8, pp. 3560-3575.
- [24] F. Bulut. (2017). Different Mathematical Models for Entropy in Information Theory. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, vol. 1 (2), pp. 167-174.
- [25] R. M. Gray (1990). Entropy and information. *Entropy and information theory*: Springer, pp. 21-55.
- [26] S. Aydın, H. M. Saraoğlu, & S. Kara. (2009). Log energy entropy-based EEG classification with multilayer neural networks in seizure. *Annals of biomedical engineering*, vol. 37, no. 12, p. 2626.
- [27] J. F. Kaiser. (1990). On a simple algorithm to calculate the 'energy' of a signal. in *International conference on acoustics, speech, and signal processing*: IEEE, pp. 381-384.
- [28] J. F. Kaiser. (1993). Some useful properties of Teager's energy operators. in *1993 IEEE international conference on acoustics, speech, and signal processing*, vol. 3: IEEE, pp. 149-152.
- [29] P. Maragos, J. F. Kaiser, & T. F. Quatieri. (1993). On amplitude and frequency demodulation using energy operators. *IEEE Transactions on signal processing*, vol. 41, no. 4, pp. 1532-1550.
- [30] S. Solnik, P. Rider, K. Steinweg, P. DeVita, & T. Hortobágyi. (2010). Teager-Kaiser energy operator signal conditioning improves EMG onset detection. *European journal of applied physiology*, vol. 110, no. 3, pp. 489-498.
- [31] R. B. Randall & W. A. Smith. (2017). Application of the Teager Kaiser energy operator to machine diagnostics. in *Tenth Dst Group International Conference on Health and Usage Monitoring Systems*.
- [32] J. Luo & G. Oubong. (2009). A Comparison of SIFT, PCA-SIFT and SURF *International Journal of Image Processing*, vol. 3(4), pp. 143-152.
- [33] L. I. Smith. (2002). A tutorial on principal components analysis. *Technical Report OUCS-2002-12*, pp. 1-26.
- [34] H. Hoffmann. (2007). Kernel PCA for novelty detection. *Pattern recognition*, vol. 40, pp. 863-874.
- [35] V. Tsatsishvili, I. Burunat, F. Cong, P. Toivainen, V. Alluri, & T. Ristaniemi. (2018). On application of kernel PCA for generating stimulus features for fMRI during continuous music listening. *Journal of neuroscience methods*, vol. 303, pp. 1-6.
- [36] K. R. Müller, S. Mika, G. Rätsch, K. Tsuda, & B. Schölkopf. (2001). An introduction to kernel-based learning algorithms. *IEEE transactions on neural networks*, vol. 12(2).
- [37] R. Zhang, W. Wang, & Y. Ma. (2010). Approximations of the standard principal components analysis and kernel PCA. *Expert Systems with Applications*, vol. 37(9), pp. 6531-6537.
- [38] S. M. S. Shah, S. Batool, I. Khan, M. U. Ashraf, S. H. Abbas, & S. A. Hussain. (2017). Feature extraction through parallel Probabilistic Principal Component Analysis for heart disease diagnosis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 482, pp. 796-807.
- [39] M. E. Tipping & C. M. Bishop. (1999). Probabilistic principal component analysis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, vol. 61(3), pp. 611-622.
- [40] L. Breiman. (2001). Random forests. *Machine learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5-32.
- [41] I. H. Witten, E. Frank, L. E. Trigg, M. A. Hall, G. Holmes, & S. J. Cunningham. (1999). Weka: Practical machine learning tools and techniques with Java implementations.
- [42] Y. Ma, L. Guo, & B. Cukic. (2006). A statistical framework for the prediction of fault-proneness. *Advances in Machine Learning Application in Software Engineering*, Idea Group Inc, pp. 237-265.
- [43] D. M. Powers. (2011). Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation.
- [44] N. Nicolov. (2012). *Machine Learning with Applications in Categorization, Popularity and Sequence Labeling: 57th and 58nd slides*. [Online]. Available: http://www.slideshare.net/Nicolas_Nicolov/machine-learning-14528792.
- [45] Ş. Yücelbaş, C. Yücelbaş, G. Tezel, S. Özşen, & Ş. Yosunkaya. (2018). Automatic sleep staging based on SVD, VMD, HHT and morphological features of single-lead ECG signal. *Expert Systems with Applications*, vol. 102, pp. 193-206.
- [46] T. Saito & M. Rehmsmeier. (2015). The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLoS one*, vol. 10, no. 3, p. e0118432.
- [47] T. J. Wroge, Y. Özkanca, C. Demiroglu, D. Si, D. C. Atkins, & R. H. Ghomi. (2018). Parkinson's Disease Diagnosis Using Machine Learning and Voice. in *2018 IEEE Signal Processing in Medicine and Biology Symposium (SPMB)*: IEEE, pp. 1-7.



Sağlık Çalışanlarının Hastane Bilgi Sistemi Hakkındaki Görüşleri

Hüseyin Eriş^{1*}, Ebrar İlman²

¹ Harran Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1685-9819)

² Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5255-8482)

(İlk Geliş Tarihi 17 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 1 Haziran 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.566750)

ATIF/REFERENCE: Eriş, H., & İlman, E. (2019). Sağlık Çalışanlarının Hastane Bilgi Sistemi Hakkındaki Görüşleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 301-309.

Öz

Bu araştırmanın amacı, Şanlıurfa ilindeki özel bir hastanede çalışan personelin hastane bilgi sistemi hakkındaki düşüncelerini ve hastane personelinin sosyo demografik özelliklerine göre gruplar arasında farklılık olup olmadığını tespit etmektir. Araştırmanın evrenini Şanlıurfa'daki özel bir hastanede çalışan 410 personel oluşturmaktadır. Örneklem grubu seçilmemiş olup, hastanede tüm personele ulaşılmaya çalışılmıştır. Araştırma 01.03.2019 - 30.03.2019 tarihleri arasında yapılmıştır. Araştırma sonucunda anketleri dolduran personel sayısı 290 (%71) olarak tespit edilmiştir. Verilerdeki eksikliklerden dolayı 11 anket değerlendirme dışı bırakılmış ve 279 anket değerlendirmeye alınmıştır. Araştırmada hastanede çalışan personelin hastane otomasyon kullanım düzeyini tespit etmek amacıyla Venkatesh ve arkadaşlarının (2003) geliştirdiği Birleştirilmiş Teknoloji Kabul ve Kullanım Teorisi (BTKKT) ölçeğinden Engin ve Gürses (2019) tarafından Türkçe'ye uyarlanan Hastane Bilgi Sistemlerinin Benimsenmesi isimli ölçek kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan anketin Cronbach Alpha (α) katsayısı 0,911 ve Hastane Bilgi Sistemleri (HBS) alt boyutlarının ortalaması 3,54 olarak tespit edilmiştir. Hastane personelinin sosyo demografik özelliklerine göre yaş, cinsiyet ve medeni durum değişkenleri açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiş, eğitim, meslek ve çalışma süresi bakımından ise gruplar arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hastane Bilgi Sistemleri, Hastane, Hastane Personeli

Health Workers Views on Hospital Information System

Abstract

The aim of this study is to determine the opinions thoughts on hospital Information System of the personnel working in a private hospital in Şanlıurfa and whether there is a difference between the groups according to the socio-demographic characteristics of the hospital staff. The universe of the study is consists of 410 staff working in a private hospital in Sanliurfa. The sample group was not selected and all personnel were tried to be reached in the hospital. The study was conducted between 01.03.2019 - 30.03.2019. As a result of the research, the number of personnel filling in the questionnaires was determined as 290 (71%). Due to the deficiencies in the data, 11 questionnaires were excluded from the evaluation and 279 questionnaires were taken into consideration. In this study, in order to determine the hospital automation usage level of hospital staff, a scale was used to adopt hospital Information Systems adapted to Turkish by Engin and Gürses (2019) from the unified technology acceptance and usage theory (BTKT) scale developed by Venkatesh and his colleagues (2003). The Cronbach Alpha (α) coefficient of the survey was 0.911 and the average of Hospital Information Systems (HBS) subscales was 3.54. There wasn't statistically significant difference between the groups in terms of age, gender and marital status variables according to the socio-demographic characteristics of the hospital staff. However, there was a significant difference between the groups in terms of education, profession and working time.

* Sorumlu Yazar: Harran Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1685-9819), erisharran@hotmail.com

Keywords: Health Information Systems (HIS), Healthcare Organization, Health Staff

1. Giriş

Bilişim teknolojileri ve bilişim sistemlerinin yaşamın her alanında yer almaya başlaması sonucunda teknoloji çağı diye tabir edilen bir döneme girdi insanlığı. Basit hesaplamalarla başlayan bu teknoloji dönemi artık cep telefonları ile kıtalar arası görüşmelerden banka hesaplarında işlem yapmaya, gezegenler arası yolculuk hesaplamalarından, insan sağlığı ile ilgili önemli teknolojik cihaz yapımına kadar hayatın tüm alanına girmiş durumdadır.

Günümüzde, bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaygın kullanımı, sağlık sektörü de dahil olmak üzere yaşamın hemen hemen tüm yönlerine nüfuz etmiş durumdadır (Biçer, 2018; Bilgiç ve Şendir, 2014; Almunawar ve Anshari, 2012). Sağlam ve güvenilir bilgi, tüm sağlık sistemi yapı taşlarında karar vermenin temelidir ve sağlık sistemi politikası geliştirme ve uygulama, yönetim ve düzenleme, sağlık araştırması, insan kaynakları geliştirme, sağlık eğitimi, hizmet sunumu ve finansmanı için gereklidir (WHO, 2008). Bilişimin sağlığa entegre edilmesi ile bilişim teknolojileri alanında yapılan çalışmalar özellikle 1990'lardan itibaren hem ulusal hem uluslararası platformda artmaya başlamıştır (Uysal ve Arkadaşları, 2017).

Hızlı gelişen teknolojik hayat insan sağlığını da doğrudan etkilemeye başlamıştır. Hastaneler başta olmak üzere birçok sağlık kurumunda hastaların her türlü tetkik, teşhis işlemlerinin yanı sıra hastalara ait bilgilere gerek sağlık kurumu içerisinde gerekse dışarıdan ulaşılabilir bir hale gelmiştir (Gencer ve Arkadaşları, 2019). Hatta başka bir bölgeden akıllı robotlar sayesinde hastayı uzaktan ameliyat edebilme imkanı bile sunar hale gelmiştir. Gelişen teknoloji ile hastane bilgi sistemleri, kurumun kendisi başta olmak üzere sağlık hizmeti sunumunda hastalara ve sağlık profesyonellerine sağlayacağı faydaların, geçmiş tecrübelerden de yararlanılarak daha ileri boyutlarda ve hızlı bir şekilde paydaşlara sunumunun sağlanmasına imkan sunmaktadır (Gundak ve Çetin, 2015; Öner, 2014; Özata ve Aslan, 2004).

Sağlık alanında yıllardır kullanılmaya başlanan bu teknolojik uygulamaları tanımlamak için birtakım terimler kullanılmaya başlanmıştır. Bu terimler arasında en çok kullanılanları Otomatik Sağlık Kayıtları (OSK), Hastane Bilgi Sistemleri (HBS), Elektronik Hasta Kayıtları (EHK), Elektronik Tıbbi Kayıtlar (ETK), Bilgisayarlı Hasta Kayıtları (BHK) ve Elektronik Sağlık Kayıtları (ESK)'dir (Eriş, 2016; Gundak ve Çetin, 2015; WHO, 2006).

2. Hastane Bilgi Sistemleri

Köksal ve Esatoğlu'na göre (2005) HBS, hastanelerde sunulan sağlık hizmetlerinin bilgisayar, notebook, cep telefonu gibi elektronik cihazlar aracılığı ile gerçekleştirilmesi, elektronik ortamda bilgi alışverişinin otomatik olarak yapılması, tıbbi, finansal ve mali hizmetler açısından ortaya çıkan detaylı bilgilerin farklı elektronik cihazlara dayalı bir enformasyon sistemi ile kayıt altına alınıp, bilgiye dönüştürme işlemi olarak tanımlanmaktadır. İdari ve tıbbi bilgileri iç içe, bir arada tutabilen sistemlere bütünlük HBS denilmektedir (Yılmaz ve Aloglu, 2002). Başka bir tanımda HBS, sağlık alanında derlenen her türlü verinin kaydedilmesi, toplanması ve ihtiyaca uygun bir şekilde işlenerek kullanıma hazır hale getirilmesi ve sağlık hizmetlerinin etkili ve verimli bir şekilde sunumunu sağlayacak bilgi sistemleri olarak tanımlanmaktadır (Öner, 2014; Işık ve Akbolat, 2010). Başka bir tanımda HBS, hastanelerin çeşitli düzeylerindeki karar mercilerine yardımcı olmak için bilgi toplama ve bilgi iletme işlevlerini yerine getiren, farklı kaynaklardan ulaşılan verileri bütünleyebilme sistemidir (Ak, 2010).

Dünya Sağlık Örgütü'nün sağlık tanımından yola çıkarak, bilişim teknolojilerini bireyin fiziksel, ruhsal ve sosyal yapısını negatif olarak etkileyebilecek her çeşit rahatsızlığı önceden saptayabilecek ya da tedbir alabilecek tahminlerin tespitinde kullanılabileceği olanağı da, sağlık bilişim sistemlerinin gelişmesinde etkili olmuştur (WHO, 2008). Ayrıca hastaneler, kaliteyi arttırmak ve sonuçların iyileşmesini sağlayabilmek için HBS teknolojisine yatırım yapmaktadırlar (Sarnikar ve Murphy, 2009)

HBS, hastanelerin kurumsal yapılarına göre farklı amaçlara hizmet edecek ve verimliliği artıracak şekilde entegre edilebilmektedir (Yılmaz ve Demirkan, 2012). HBS hastanelerde birçok alanda kullanılmaktadır. En çok kullanılan alanlar hastaya ait tıbbi kayıtlar (klinik, laboratuvar, radyoloji, ameliyathane, eczane, terapi ve diyet gibi), teletıp, hemşire bilgi sistemleri, hastanenin stratejik planlaması, sağlık pazarlama ve hizmet geliştirme, hastanenin her türlü mali işlemleri (finansal kaynaklar, medikal faturalandırma, personel giderleri vb.), satın alma ve stok değerlendirme, insan kaynakları yönetimi, devlet kurumları ile iletişim kurma (sağlık bakanlığı, sosyal güvenlik kurumu gibi), hastane yönetim gibi alanlar örnek olarak verilebilir (Kılıçarslan, 2018; Özel ve Arkadaşları, 2014; Top ve Gider, 2012; Işık ve Akbolat, 2010; Kuperman ve Arkadaşları, 2000; Ömürbek ve Altın, 2009). Bu sayede, ihtiyaç duyulan bilgiye kısa sürede, hızlı ve güvenilir bir şekilde ulaşarak, her türlü gereksinimlerini kolayca karşılayabilmektedirler.

3. Materyal ve Metot

3.1. Araştırmanın amacı

Bu araştırmanın amacı, Şanlıurfa ilindeki özel bir hastanede çalışan personelin hastane bilgi sistemi hakkındaki düşüncelerini ve sosyo demografik özelliklerine göre hastane bilgi sistemi hakkındaki düşüncelerinde farklılık olup olmadığını tespit etmektir.

3.2. Araştırmanın Evren ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini Şanlıurfa'daki özel bir hastanede çalışan 410 personel oluşturmaktadır. Örneklem grubu seçilmemiş olup, hastanede hizmet veren tüm personele ulaşılmaya çalışılmıştır. Araştırma 01.03.2019 - 30.03.2019 tarihleri arasında yapılmıştır. Araştırma sonucunda anketleri dolduran personel sayısı 290 (%71) olarak tespit edilmiştir. Verilerdeki eksikliklerden dolayı 11 anket değerlendirme dışı bırakılmış ve 279 anket değerlendirmeye alınmıştır.

3.3. Veri Toplama Aracı

Şanlıurfa ilindeki özel bir hastanede çalışan personelin hastane otomasyon kullanım düzeyini tespit etmek amacıyla Venkatesh ve arkadaşlarının (2003) geliştirdiği Birleştirilmiş Teknoloji Kabul ve Kullanım Teorisi (BTKKT) ölçeğinden Engin ve Gürses (2019) tarafından Türkçe'ye uyarlanan, Hastane Bilgi Sistemlerinin Benimsenmesi isimli ölçek kullanılmıştır. Anket iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde hastane personelinin sosyo – demografik özelliklerini içeren sorular yer almaktadır. İkinci bölümde ise, 6 alt boyuttan ve toplam 21 ifadeden oluşan Hastane Bilgi Sistemlerinin Benimsenmesi isimli anket kullanılmıştır.

Ankette yer alan her bir ifade 5'li Likert ölçeğine göre hazırlanmış olup; “Kesinlikle Katılmıyorum (1)”, “Katılmıyorum (2)”, “Kararsızım (3)”, “Katılıyorum (4)” ve “Kesinlikle Katılıyorum (5)” ifadelerine yer verilerek oluşturulmuştur.

Anket çalışmasında verilerin ait oldukları aralıklar belirlenirken (Üst Değer–Alt Değer)/Değer Sayısı formülü kullanılmıştır. Aralık değerleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Aritmetik Ortalamaları Değerlendirme Tablosu

Aralık	Seçenekler	Aralık Değeri
1.00 – 1.80.	Kesinlikle Katılmıyorum	Çok olumsuz
1.81. – 2.60	Katılmıyorum	Olumsuz
2.61 – 3.40	Kararsızım	Orta
3.41 – 4.20	Katılıyorum	Olumlu
4.21 – 5.00	Kesinlikle Katılıyorum	Çok olumlu

Araştırmada kullanılan anketin Cronbach Alpha (α) katsayısı 0,911'dir. Cronbach α değerinin 0.7'den büyük olması kullanılan ölçme aracının güvenilir olduğunu gösterir.

4. Bulgular

Bu bölümde araştırma sonunca elde edilen bulgular verilmektedir. Tablo 2'de araştırmaya katılan hastane personelinin sosyo demografik bilgileri verilmiştir.

Tablo 2. Araştırmaya Katılan Hastane Personelinin Sosyo-Demografik Bilgileri

	Demografik Gruplar	N	%
Cinsiyet	Kadın	148	53,3
	Erkek	131	46,7
	Toplam	279	100,0
Yaş grupları	18-24 yaş	53	19,0
	25-34 yaş	159	57,1
	35 yaş -üstü	67	23,9
	Toplam	279	100,0
Medeni durum	Evli	126	45,1
	Bekar	153	54,9
	Toplam	279	100,0
Eğitim durumu	Lise /Ön lisans	114	41,0
	Lisans	135	48,0
	Lisansüstü /Doktora	30	11,0
	Toplam	279	100,0
Meslek	Doktor	25	9,0
	Hemşire/Ebe	140	50,2
	Tıbbi sekreter	114	40,8
	Toplam	279	100,0
Çalışma süresi	1-3 yıl	98	35,3
	3-10 yıl	109	38,8

10 yıl -üstü	72	25,9
Toplam	279	100,0

Araştırmaya katılan personelin %53,3'ü kadın, %57,1'i 25-34 yaş grubunda, %54,9'u bekar, %36,1'i lisans mezunu, %60,5'i 1999 TL- altı grubunda gelire sahip, %40,8'i tıbbi sekreter, %38,8'i 3-10 yıldır çalışma süresi grubunda, %38,6'si 3-10 yıl mesleki tecrübe grubunda, %54,2'si 3-10 yıl bilgisayar tecrübesi grubunda ve %44,5'i 3-10 yıl hastane HBS tecrübesi grubunda yer almaktadır.

Tablo 3. HBS İfadelerine Verilen Cevapların Ortalamaları

Performans Beklentisi	N	Ort.	S.S.	Aralık Değeri
HBS'yi kullanmayı işimde yararlı buluyorum.	226	3,92	1,04	Olumlu
HBS'yi kullanmak işlerimdeki başarıyı arttırır.	220	4,00	0,99	
HBS'yi işlerimi daha çabuk yapmama yardımcı olur.	222	3,99	1,09	
HBS'yi kullanmak iş verimliliğimi arttırır.	209	3,93	1,13	
Toplam	226	3,96	0,93	
Efor Beklentisi	N	Ort.	S.S.	Olumlu
HBS'yi nasıl kullanılacağını öğrenmek benim için kolaydır.	220	3,69	1,11	
HBS'yi kullanmayı açık ve anlaşılabilir buluyorum.	223	3,43	1,17	
HBS'yi kullanmayı kolay buluyorum.	224	3,35	1,09	
HBS kullanımında ustalaşmak benim için kolaydır.	224	3,67	1,02	
Toplam	226	3,51	0,92	
Sosyal Etki	N	Ort.	S.S.	Olumlu
İş arkadaşlarım HBS'yi kullanmam gerektiğini düşünmektedir.	219	3,56	1,09	
Üst yöneticilerim HBS'yi kullanmam gerektiğini düşünmektedir.	219	3,64	1,15	
HBS kullanımında insanların görüşlerine önem veririm.	219	3,56	1,15	
Toplam	224	3,59	0,93	
Kolaylaştırıcı Koşullar	N	Ort.	S.S.	Orta
HBS'yi kullanmada gerekli kaynaklara sahibim.	224	3,29	1,13	
HBS'yi kullanma noktasında gerekli bilgiye sahibim.	224	3,50	1,02	
HBS'yi kullandığım diğer teknolojilerle uyumludur.	223	3,30	1,08	
HBS'yi kullanırken zorlandığımda yardım alacak birilerini bulabilirim.	223	3,34	1,16	
Sisteme destek veren ekip konusunda uzmandır.	224	3,29	1,17	
Toplam	227	3,34	0,86	
Davranışsal Niyet	N	Ort.	S.S.	Orta
Gelecekte de HBS'yi kullanmaya devam etme niyetindeyim.	223	3,29	1,09	
HBS'yi her zaman kullanmaya çalışacağım.	224	3,33	1,00	
HBS'yi yoğun şekilde kullanmaya devam etmeyi planlıyorum.	223	3,22	1,08	
Toplam	227	3,27	0,95	
HBS Kullanım Boyutu	N	Ort.	S.S.	Olumlu
HBS'yi kullanmaya çok zaman ayırıyorum.	221	3,45	1,14	
HBS'yi çok sık kullanıyorum.	224	3,73	1,20	
Toplam	224	3,60	1,10	
Genel Performans Beklentisi	227	3,54	0,64	

HBS ifadelerine verilen cevapların ortalamaları tablo 3'de verilmiştir. Tabloya bakıldığında, HBS alt boyutlarının ortalamalarının genel toplamı 3,54 olarak tespit edilmiş ve hastane personelinin genel olarak HBS genel performans beklentisine katıldığı görülmüştür. HBS alt boyutlarının ortalamalarının toplamına bakıldığında; "Performans Beklentisi" alt boyutunun toplam ortalaması 3,96, "Efor Beklentisi" alt boyutunun toplam ortalaması 3,51, "Sosyal Etki" alt boyutunun toplam ortalaması 3,59 ve "Kullanım Boyutu" alt boyutunun toplam ortalaması 3,60 olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre hastane personelinin bu alt boyutlara genel olarak yüksek oranda katıldıkları tespit edilmiştir.

HBS alt boyutlarından “Kolaylaştırıcı Koşullar” alt boyutunun toplam ortalaması 3,34 ve “Davranışsal Niyet” alt boyutunun toplam ortalaması 3,27 olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre hastane personelinin bu alt boyutlar konusunda genel olarak kararsız oldukları görülmektedir.

Araştırmada, hastanede çalışan personelin sosyo demografik özelliklerine göre gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan ANOVA ve Tukey testine göre yaş, cinsiyet ve medeni durum değişkenleri açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Bu nedenle bu değişkenlere ait tablolar burada verilmemiştir.

Tablo.4 HBS Alt Boyutlarının Eğitim Durumu Değişkeni Bakımından İncelenmesi

HBS Alt Boyutları	Eğitim	N	Ort.	Std. Sapma	F	p
Performans Beklentisi	Lise /Ön lisans	114	4,22	0,862	4,864	0,003
	Lisans	135	4,02	0,789		
	Lisansüstü /Doktora	30	3,67	1,026		
	Toplam	279	4,17	0,868		
Efor Beklentisi	Lise /Ön lisans	114	3,59	0,901	0,623	0,601
	Lisans	135	3,39	0,860		
	Lisansüstü /Doktora	30	3,57	0,977		
	Toplam	279	3,46	0,960		
Sosyal Etki	Lise /Ön lisans	114	3,70	1,046	2,096	0,102
	Lisans	135	3,42	0,852		
	Lisansüstü /Doktora	30	3,51	0,938		
	Toplam	279	3,87	0,885		
Kolaylaştırıcı Koşullar	Lise /Ön lisans	114	3,15	0,977	1,325	0,267
	Lisans	135	3,29	0,909		
	Lisansüstü /Doktora	30	3,41	0,779		
	Toplam	279	3,48	0,799		
Davranışsal Niyet	Lise /Ön lisans	114	3,17	1,031	1,512	0,212
	Lisans	135	3,15	1,019		
	Lisansüstü /Doktora	30	3,28	0,903		
	Toplam	279	3,55	0,871		
HBS Kullanım	Lise /Ön lisans	114	3,80	1,080	3,723	0,012
	Lisans	135	3,65	1,031		
	Lisansüstü /Doktora	30	3,30	1,177		
	Toplam	279	3,93	0,979		
Genel Performans Beklentisi	Lise /Ön lisans	114	3,58	0,656	1,394	0,245
	Lisans	135	3,48	0,570		
	Lisansüstü /Doktora	30	3,47	0,686		
	Toplam	279	3,72	0,664		

HBS alt boyutlarının eğitim durumu değişkeni bakımından incelenmesi Tablo 4’de verilmiştir. ANOVA testine göre HBS alt boyutlarından sadece performans beklentisi ve kullanım boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için yapılan Tukey testine göre aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

1. Performans beklentisi boyutunda farklılık, Lise/önlisans ile Lisans ve Lisansüstü /Doktora ile Lisans gruplarının ortalamalarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

2. Kullanım boyutunda farklılık, Lisansüstü/Doktora ile Lisans gruplarının ortalamalarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo.5 HBS Alt Boyutlarının Meslek Değişkeni Bakımından İncelenmesi

HBS Alt Boyutları	Meslek	N	Ort.	Std. Sapma	F	p
-------------------	--------	---	------	------------	---	---

Performans Beklentisi	Doktor	25	4,15	0,861	7,220	0,001
	Hemşire/Ebe	140	3,56	0,912		
	Tıbbi sekreter	114	4,13	0,777		
	Toplam	279	3,97	0,877		
Efor Beklentisi	Doktor	25	3,48	1,051	0,385	0,681
	Hemşire/Ebe	140	3,37	0,988		
	Tıbbi sekreter	114	3,54	0,884		
	Toplam	279	3,47	0,960		
Sosyal Etki	Doktor	25	3,90	0,830	4,034	0,020
	Hemşire/Ebe	140	3,37	0,966		
	Tıbbi sekreter	114	3,47	0,929		
	Toplam	279	3,57	0,932		
Kolaylaştırıcı Koşullar	Doktor	25	3,45	0,788	1,336	0,266
	Hemşire/Ebe	140	3,17	0,711		
	Tıbbi sekreter	114	3,38	0,933		
	Toplam	279	3,34	0,835		
Davranışsal Niyet	Doktor	25	3,53	0,790	1,342	0,265
	Hemşire/Ebe	140	3,21	0,864		
	Tıbbi sekreter	114	3,34	0,982		
	Toplam	279	3,36	0,899		
HBS Kullanım	Doktor	25	3,85	0,978	8,980	0,000
	Hemşire/Ebe	140	3,07	1,034		
	Tıbbi sekreter	114	3,82	0,913		
	Toplam	279	3,61	1,020		
Genel Performans Beklentisi	Doktor	25	3,71	0,649	4,678	0,011
	Hemşire/Ebe	140	3,31	0,628		
	Tıbbi sekreter	114	3,60	0,602		
	Toplam	279	3,55	0,639		

HBS alt boyutlarının eğitim durumu değişkeni bakımından incelenmesi Tablo 5’de verilmiştir. ANOVA testine göre HBS alt boyutlarından performans beklentisi, sosyal etki, kullanım ve genel performans beklentisi boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için yapılan Tukey testine göre aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

1. Performans beklentisi alt boyutunda farklılık, hemşire ile doktor ve hemşire ile tıbbi sekreter gruplarının ortalamalarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.
2. Sosyal etki alt boyutunda farklılık hemşire ile doktor gruplarının ortalamalarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.
3. Kullanım alt boyutunda farklılık, hemşire ile doktor ve hemşire ile tıbbi sekreter gruplarının ortalamalarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.
4. Genel Performans beklentisi alt boyutunda farklılık hemşire ile doktor gruplarının ortalamalarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo.6 HBS Alt Boyutlarının Çalışma Süresi Değişkeni Bakımından İncelenmesi

	Çalışma süresi	N	Ort.	Std. Sapma	F	p
Performans Beklentisi	1-3 yıl	98	4,10	0,913	3,149	0,026
	3-10 yıl	109	3,86	0,928		
	10 yıl -üstü	72	4,10	0,858		
	Toplam	279	3,95	0,929		
Efor Beklentisi	1-3 yıl	98	3,50	0,874	3,643	0,014
	3-10 yıl	109	3,62	0,797		
	10 yıl -üstü	72	3,58	0,976		
	Toplam	279	3,51	0,929		
Sosyal Etki	1-3 yıl	98	3,66	1,036	1,583	0,194

	3-10 yıl	109	3,57	0,823		
	10 yıl -üstü	72	3,69	0,927		
	Toplam	279	3,59	0,943		
Kolaylaştırıcı Koşullar	1-3 yıl	98	3,29	0,851	0,224	0,879
	3-10 yıl	109	3,37	0,790		
	10 yıl -üstü	72	3,35	0,950		
	Toplam	279	3,33	0,861		
Davranışsal Niyet	1-3 yıl	98	3,32	0,933	0,623	0,601
	3-10 yıl	109	3,30	0,889		
	10 yıl -üstü	72	3,25	1,038		
	Toplam	279	3,26	0,960		
HBS Kullanım	1-3 yıl	98	3,62	1,066	2,402	0,069
	3-10 yıl	109	3,52	1,045		
	10 yıl -üstü	72	3,82	1,160		
	Toplam	279	3,58	1,106		
Genel Performans Beklentisi	1-3 yıl	98	3,57	0,612	2,639	0,050
	3-10 yıl	109	3,54	0,605		
	10 yıl -üstü	72	3,61	0,657		
	Toplam	279	3,53	0,649		

HBS alt boyutlarının çalışma süresi durumu değişkeni bakımından incelenmesi Tablo 6'da verilmiştir. ANOVA testine göre HBS alt boyutlarından performans beklentisi ve efor beklentisi boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için yapılan Tukey testine göre her iki alt boyutta da 1-3 yıl ile 10 yıl -üstü gruplarının ortalamalarının farklı olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu araştırmada, Şanlıurfa ilindeki özel bir hastanede çalışan personelin hastane bilgi sistemi hakkındaki düşünceleri ve sosyo demografik özelliklerine göre hastane bilgi sistemi hakkındaki düşünceleri arasında farklılık olup olmadığı incelenmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlar şöyledir:

Araştırmada kullanılan anketin Cronbach Alpha (α) katsayısı 0,911 olarak tespit edilmiş ve anketin güvenilir olduğu görülmüştür. Hastane personelinin HBS ifadelerine verdikleri cevapların genel performans ortalamalarının genel toplamı 3,54 olarak tespit edilmiş ve hastane personelinin genel olarak HBS genel performans beklentisine katıldığı saptanmıştır. HBS alt boyutlarının ortalamalarına bakıldığında; “Performans Beklentisi” (3,96), “Efor Beklentisi” (3,51), “Sosyal Etki” (3,59) ve “Kullanım Boyutu” (3,60) alt boyutlarına katılırken, “Kolaylaştırıcı Koşullar” (3,34) ve “Davranışsal Niyet” (3,27) alt boyutlarında ise genel olarak kararsız oldukları görülmektedir. Gündak ve Çetin tarafından (2012) yapılan araştırmada da benzer bir sonuç elde edilmiş ve hastane personelinin HBS kullanımının orta düzeyde bulunduğu belirtilmiştir. Yılmaz ve Demirkan tarafından yapılan (2012) araştırma da ise doktor ve hemşirelerin HBS'nin genel kullanılabilirlik düzeyine karşı kararsız oldukları görülmüştür.

Araştırmada, hastanede çalışan personelin sosyo demografik özelliklerine göre yaş, cinsiyet ve medeni durum değişkenleri açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Hastane personelinin HBS'e hakkındaki görüşlerinde yaş, cinsiyet ve medeni durum bakımından grupların aynı görüşlere sahip oldukları görülmektedir. Uslu ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan araştırmada hastane personelinin yaş faktörü ile HBS kullanımını arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmesine rağmen cinsiyet ve medeni durum açısından anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (Uslu ve arkadaşları, 2016). Gündak ve Çetin (2015) tarafından yapılan araştırmada da cinsiyet ve yaş grupları açısından anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir.

HBS alt boyutlarının hastane personelinin eğitim durumu değişkeni bakımından incelenmesi sonucunda “performans beklentisi” ve “HBS kullanım” alt boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur. Farklılığın lisans mezunu hastane personelinin kaynaklandığı belirlenmiştir. Lisans mezunu hastane personelinin ortalamasının her iki alt boyutta da lise/önlisans ve lisansüstü/doktora gruplarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yani lisans mezunu hastane personelinin “performans beklentisi” ve “HBS kullanım” alt boyutlarına genel olarak daha az katıldığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, lisans mezunu grubunda yer alan personelin çoğunluğunun hemşire/ebe grubunda yer alan personelden oluşmasıdır. Bu gruptaki personel, hastalara sürekli bakım hizmeti sunduğu için iş yoğunluğu içerisinde HBS kullanımının ve performans beklentisinin kendilerine iş yükü çıkardığını düşünebilirler. Ayrıca hemşire ve ebelerin çoğunluğunun HBS kullanabilmek için yeterli bilgisayar eğitimi almadıkları ve hastanenin de hizmet içi eğitim vermediği için, bu konuda diğer meslek gruplarından daha düşük ortalamaya sahip oldukları sonucuna varılabilir. Çünkü literatürde Çakırlar ve Mendi tarafından (2016) yapılan araştırmada hemşirelerin büyük çoğunluğunun hemşirelik eğitiminde alınan bilgisayar derslerinin yetersiz olduğunu ifade ettikleri ve hizmet içi eğitim programlarında teknoloji kullanımının etkinliğini

artırıcı programlar istedikleri görülmüştür. Ünalın tarafından (2016) yapılan araştırma da ise eğitim açısından gruplar arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

HBS alt boyutlarının çalışma süresi durumu değişkeni bakımından incelenmesi sonucunda performans beklentisi ve efor beklentisi boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için yapılan Tukey testine göre her iki alt boyutta da 1-3 yıl ile 10 yıl -üstü gruplarının ortalamalarının farklı olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. 10 yıl ve üzeri grupta çalışan hastane personelinin ortalamasının daha yüksek olduğu görülmektedir. Hastanede çalışma süresi arttıkça edinilen deneyim sayesinde personelin HBS'ye daha rahat uyum sağladığı ve bu konuda tecrübeli olduğu söylenebilir. Literatürde Uslu ve arkadaşları tarafından (2016) yapılan araştırmada benzer sonuçlar elde edilmiş ve çalışma süresi daha fazla olan grupların ortalamasının, daha az çalışan gruplara göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bir diğer araştırmada ise çalışma süresi 6-10 yıl olan hemşirelerin, çalışma süresi 1-5 yıl olan hemşirelerden daha yüksek olduğu görülmüştür (Çakırlar ve Mendi, 2016).

Sonuç olarak hastanelerde sunulan sağlık hizmetlerinin etkili, kaliteli, verimli sunulabilmesi için hastane personelinin HBS'yi yüksek kullanım düzeyleri önem arz etmektedir. Ayrıca, hem dünyada hem de Türkiye'de bilişim sistemlerinin etkin kullanımı ile hasta ve sağlık profesyonellerinin çaba ve zaman israfından kaçınmak, sağlık yönetimi sürecindeki aksaklıklara çözüm bulmak ve finansal verimliliği artırmak amaçlanmaktadır (Kılıçarslan, 2018). Hastane personeli ise, araştırmada en çok performans beklentisi alt boyutundaki HBS'yi kullanmak işimdeki başarıyı artırır (4.00), HBS işlerimi çabuk yapmama yardımcı olur (3.99), HBS iş verimliliğini artırır (3.93) ve HBS'yi kullanmayı işimde yararlı buluyorum (3.92) ifadelerine yüksek oranda katıldıklarını belirtmişlerdir. Hastanede kullanılan HBS'nin kendileri açısından faydalı olduğunu ve işlerini yaparken kendilerini başarıya ulaştırdığını ifade etmişlerdir.

Hastane personeli, araştırmada "davranışsal niyet (3.27)" alt boyutundaki HBS'yi yoğun bir şekilde kullanmaya devam etme (3,22), gelecekte HBS'yi kullanmaya devam etme (3.29) ve HBS'yi her zaman kullanma (3,33) ifadeleri konusunda ise kararsız olduklarını belirtmişlerdir.

Hastane personelinin kararsız kaldığı bir diğer alt boyut ise kolaylaştırıcı koşullardır (3.29). Kolaylaştırıcı koşullar alt boyutunda en çok kararsız oldukları ifadelerin başında sisteme destek veren ekip uzmandır (3.29) ve HBS'yi kullanmada gerekli kaynaklara sahip (3.29) olma ifadeleri gelmektedir. Hastane personelinin, hastanede HBS konusunda çalışan personelin uzmanlığı konusunda şüpheleri bulunurken, kendilerinin de çalışırken gerekli kaynaklara sahip oldukları konusunda kararsız oldukları görülmektedir. Yine hastane personeli, kullandıkları HBS'nin diğer teknolojilerle uyumlu olması (3,30) ve HBS'yi kullanırken destek alacak birilerini bulma (3,34) konusunda kararsızdılar.

Bu sonuçlar ışığında şu öneriler yapılabilir:

- Sağlık alanında eğitim gören öğrencilere, günün koşullarına göre itiyacı karşılayacak kadar bilgisayar eğitimi verilmelidir.
- Hastanede çalışan personele, hastanelerde hizmet içi eğitim verilirken teknoloji kullanımının etkinliğini artırıcı eğitimler de verilmelidir.
- Hastane yönetimi, HBS konusunda çalışan personeli istihdam ederken, liyakat ilkelerine bağlı kalarak, uzman kişileri işe almalıdır.
- Hastane yönetimi, personelin kolaylıkla ulaşip, destek alabileceği HBS uzmanı personeli 7/24 bulundurmalıdır.
- Hastane personeli, HBS konusunda ihtiyaçlarını karşılayacak gerekli kaynaklara sahip olmalıdırlar.
- Hastane yönetimi, HBS sistemini kurarken, mevcut diğer teknolojilerle uyumlu ve kullanımının kolay olmasına dikkat etmelidirler.

Kaynakça

- Ak, B. (2009). Türkiye'de sağlık bilişimi, bir kişisel değerlendirme ve uluslararası bir başarı öyküsü: CorTTex. Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 11-13 Şubat 2009 Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 333-341
- Almunawar. M.N., Anshari. M., (2012) Health Information Systems (HIS): Concept and Technology, https://www.researchgate.net/publication/221710863_Health_Information_Systems_HIS_Concept_and_Technology, Erişim tarihi: 12.05.2019
- Biçer, E.B.(2018). Sağlık Kurumları Yöneticilerinin Stratejik Yönetim Tekniklerine Bakış Açılarının Ve Yaklaşım Tarzlarının Belirlenmesi: Sivas İli Örneği, Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 16 (4): 405-427.
- Bilgiç. Ş., Şendir. M., (2014), Hemşirelik Bilişimi, Cumhuriyet Hemşirelik Dergisi, 3(1): 24-28
- Çakırlar. A., Mendi. B., (2016) Hemşirelerin elektronik sağlık kaydı ve bilişim uygulamaları kapsamındaki bilgi ve tutumlarının değerlendirilmesi, FNG & Bilim Tıp Dergisi 2016;2(1):32-39, doi: 10.5606/fng.btd.2016.007
- Engin, M., Gürses, F. (2019). Adoption of Hospital Information Systems in Public Hospitals in Turkey: An Analysis With the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology Model, International Journal of Innovation and Technology Management, DOI: 10.1142/S0219877019500433
- Eriş. H., (2016) Hemşirelerin Hastanelerde Kullandıkları Elektronik Tıbbi Kayıtlar Hakkındaki Görüşleri: Şanlıurfa Örneği, Sağlık Akademisyenleri Dergisi, Vol.3, Issue 3, DOI: 10.5455/sad.13-1477551776

- Gencer, Z.T., Daşlı, Y., Biçer, E.B. (2019). Sağlık İletişiminde Yeni Yaklaşımlar: Dijital Medya Kullanımı, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 2 (1): 42-52.
- Gundak. İ., Çetin. H., (2015) Hastane Bilgi Sistemlerinin SUMI Yöntemine Göre Kullanılabilirlik Düzeyinin Belirlenmesi: Akdeniz Üniversitesi Hastanesi Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, C.20, S.2, s.315-331
- Hilal Uysal. H., Yıldız. M., Dinçer. M., Eybek. Z., (2017) Hemşirelik Öğrencilerinin Bilgisayar ve Bilişim Teknolojileri Hakkındaki Farkındalıklarının Değerlendirilmesi, G.O.P. Taksim E.A.H. JAREN 2017;3(3):153-162
- Işık. O., Akbolat. M., (2010) Bilgi Teknolojileri ve Hastane Bilgi Sistemleri Kullanımı: Sağlık Çalışanları Üzerine Bir Araştırma, Bilgi Dünyası, 11 (2) 365-389
- Kılıçarslan, M. (2018). The Assessment and Comparison of Health Information Systems in Turkey and in the World, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 14 (3): 127-133.
- Köksal, A., Esatoğlu. A. E. (2005). Ankara İlindeki Üniversite Ve Özel Hastanelerde Kullanılan Elektronik Hastane Bilgi Sisteminin Analizi. Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, 7(1), 53-65.
- Kuperman. G. J., Spurr, C., Flammini. S., Bates. D., Glaser. J. (2000). A clinical information systems strategy for a large integrated delivery network. Proc AMIA Symp., 438-442.
- Ömürbek. N., Altın. F.G., (2009) Sağlık Bilişim Sistemlerinin Uygulanmasına İlişkin Bir Araştırma: İzmir Örneği, SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı:19, ss.211-232
- Öner F. Sağlık bilişimi, Türkiye’de sağlık bilgi enformasyon sistemleri ve dijital hastaneler [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul: Beykent Üniversitesi; 2014
- Özata. M., Aslan. Ş., (2004) Klinik Karar Destek Sistemleri ve Örnek Uygulamalar, Kocatepe Tıp Dergisi, 5: 11 – 17
- Özel. H.Ö., Ürkmez. D. Ö., Demiray. S., Cebeci. Z., (2014) Hemşirelik Bilişimi ve Hastane Bilgi Yönetimi Sistemi, Ok Meydanı Tıp Dergisi, 30(3) 158-160, doi:10.5222/otd.2014.158
- Sarnıkar S., Murphy M. (2009). “A Usability Analysis Framework for Healthcare Information Technology”, Working Papers on Information Systems, 9(62).
- Top M, Gider O. Nurses’ views on electronic medical records (EMR) in Turkey: an analysis according to use, quality and user satisfaction. J Med Syst 2012;36(3):1979-1988
- Uslu. D., Toygar., Ş.A., Mansur. F. (2016) Hastane Bilgi Yönetim Sisteminin Kullanılabilirliğini Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma, Uluslararası Sağlık Yönetimi Ve Stratejileri Araştırma Dergisi, Cilt 2, Sayı 3,
- Ünalın. N., (2016) Bir Eğitim Hastanesi’nde Hastane Bilgi Sistemleri Değişim Yönetimi İncelenmesi Ve İyileştirme, Doktora Tezi, T.C. Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Teknoloji Yönetimi Ana Bilim Dalı
- Venkatesh V., Morris, M. G., Davis, G. B. & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. MIS Quarterly, 27(3), 425-478.
- World Health Organization, (2006) Electronic Health Records: Manual for Developing Countries, WHO Library Cataloguing in Publication Data
- World Health Organization, (2006) Health Information Systems, Health Metrics Network Framework and Standards for Country Health Information Systems, World Health Organization, January
file:///C:/Users/lenovo/Desktop/hbs%20makale/who%202008.pdf erişim tarihi: 12.05.2019
- Yılmaz, A., Aloğlu. E. (2002). Hastane Bilgi Sistemleri. 5. Ulusal sağlık kuruluşları ve hastane yönetimi sempozyum kitabı. Eskişehir: 16-19 Ekim, 331-339
- Yılmaz. M., Demirkan. A. E., (2012) Hastane Yönetim ve Bilgi Sisteminin Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi, Bilişim Teknolojileri Dergisi, Cilt: 5, Sayı: 3, 2012



Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi

Ramazan Kayabaşı^{1*}, Metin Kaya²

¹ Kayseri Üniversitesi, Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6195-7445)

² Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8524-6250)

(İlk Geliş Tarihi 10 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 1 Haziran 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.562859)

ATIF/REFERENCE: Kayabaşı, R., & Kaya, M. (2019). Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 310-324.

Öz

Günümüz teknolojilerinin temelini enerji ve enerji kaynakları oluşturmaktadır. Gelişmiş dünya ülkeleri, enerji kaynaklarına sahip olmak ve enerji teknolojilerini geliştirmek için yarış halindedir. Ayrıca enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak bu ülkelere çevresel ve ekonomik olarak avantaj sağlamaktadır. Enerjinin üretimi ve tüketimi esnasında, kaynakların bir kısmı atık ısı olarak alıcı ortama bırakılmaktadır. Endüstride birçok atık ısı kaynağı bulunmaktadır. Atık ısı kaynaklarının sahip olduğu enerjiyi işe dönüştürmek için araştırma geliştirme faaliyetleri artarak devam etmektedir. Atık ısı kaynaklarından biri fotovoltaik modüllerin yüzeylerinde biriken ısı enerjisidir. Fotovoltaik modüllerde biriken ısı enerjisi modüllerin verimlerini düşürmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklık fotovoltaik modüllerin verimli çalışma sürelerini azaltmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaik modüllerin yüzeyinde biriken ısı enerjisi faz değiştiren madde kullanılarak çekilmiştir. Fotovoltaik modüllerden çekilen ısı enerjisi termoelektrik jeneratörün çalıştırılmasında kullanılmıştır. Fotovoltaik modüllerin yüzey sıcaklığı deneyler esnasında maksimum 90°C'ye ulaşmaktadır. Fotovoltaik modüllere uygulanan ısı borusu ve faz değiştiren madde ile modül yüzeyi 30°C sıcaklığa kadar soğutulabilmektedir. Sonuç olarak fotovoltaik modülün sıcaklığı sabit tutulmakta ve bu nedenle modül verimleri artmaktadır. Termoelektrik modülün yüzey sıcaklıklarına bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerde elektrik üretimi yapılmaktadır. Yüzeyler arasında sıcaklık farkı arttıkça ölçülen gerilim değerleri artış göstermektedir. Termoelektrik modül yüzey sıcaklığı 80°C ulaştığında 7.80V elektrik enerjisi üretilmektedir. Termoelektrik jeneratörden üretilen güç sıcaklık farkına bağlı olarak 5W olarak belirlenmiştir. Termoelektrik jeneratörün yüzeylerinden biri atık ısı ile ısıtılırken, diğer yüzeyi tabii ve cebri olarak havayla soğutulmaktadır. Cebri olarak soğutulan termoelektrik jeneratörün yüzeyleri arasında 51°C sıcaklık farkı oluşurken, doğal olarak soğutulan termoelektrik jeneratörün yüzeyleri arasında 26°C sıcaklık farkı oluşmaktadır. Atık ısı kaynaklı termoelektrik jeneratör kullanılarak, elektrik enerjisi üretilmektedir. Sistem hibrit olarak çalıştığı için toplam verim artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Termoelektrik Jeneratör, Fotovoltaik Panel, Faz Değiştiren Madde, Atık Isı Geri Kazanım Sistemi.

Electricity Generation with Thermoelectric Generators From Waste Heat of Photovoltaic Modules

Abstract

Energy and energy resources are the basis of today's technologies. Developed countries are competing to have energy resources and develop energy technologies. In addition, ensuring efficient use of energy provides an environmental and economic advantage to these

* Sorumlu Yazar: Kayseri Üniversitesi, Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6195-7445, rkayabasi@erciyes.edu.tr

countries. During the production and consumption of energy, some of the resources are left to the receiving environment as waste heat. There are many waste heat sources in the industry. Research and development activities continue to increase in order to convert the energy of waste heat sources to work. One of the waste heat sources is the heat energy accumulated on the surfaces of photovoltaic modules. Heat energy accumulating in photovoltaic modules reduces the efficiency of modules. In addition, high temperature reduces the efficient operating time of photovoltaic modules. In this study, heat energy accumulated on the surface of photovoltaic modules was absorbed using phase-changing material. The heat energy extracted from photovoltaic modules is used in the operation of the thermoelectric generator. The surface temperature of the photovoltaic modules reaches a maximum of 90°C during the experiments. The heat pipe applied to the photovoltaic modules and the phase-changing material can be cooled up to 30°C. As a result, the temperature of the photovoltaic module is kept constant and therefore the module efficiency increases. Depending on the surface temperatures of the thermoelectric module, electricity production is made in thermoelectric generators. As the temperature difference increases between the surfaces, the measured voltage values increase. The thermoelectric module is produced from 7.80V electrical energy when the surface temperature reaches 80°C. The power generated from the thermoelectric generator is determined as 5W depending on the temperature difference. One of the faces of the thermoelectric generator is heated by waste heat while the other surface is cooled by natural and forced air. The temperature difference between the surfaces of the naturally cooled thermoelectric generator consists of 51°C, while the temperature difference between the surfaces of the naturally cooled thermoelectric generator consists of 26°C. Electrical energy is produced by using thermoelectric generator from waste heat. Since the system operates as a hybrid, the total efficiency increases.

Keywords: Thermoelectric Generator, Photovoltaic Panel, Phase Change Material, Waste Heat Recovery System.

1. Giriş

Enerji kaynaklarını genel olarak fosil kökenli enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji kaynakları olarak sınıflandırmak mümkündür. Fosil kökenli yakıtlar yenilenemez enerji kaynaklarını oluşturmaktadır. Fosil yakıtlar rezervlerine bağlı olarak, gelecekte artan enerji taleplerine cevap veremeyecek durumdadır (Şekil 1). Nükleer enerji kaynaklarının kullanımı için gelişmemiş ülkeler yeterli teknolojik altyapıya sahip bulunmamaktadır. Nükleer enerjinin güvenli olarak işletilmesi için nükleer teknolojilere sahip bulunmak gerekmektedir. Nükleer enerjiyi diğer enerji kaynakları gibi, küçük ölçekli uygulamalarda kullanmak günümüz teknolojileriyle ekonomik ve güvenli değildir. Ayrıca nükleer atıklar nedeniyle çevresel sorunlar oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları her geçen gün teknolojilerinin gelişmesi nedeniyle yaygınlaşmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları büyük ve küçük ölçekli uygulamalar için elverişli olarak enerji üretimine fırsat sunmaktadır. Ayrıca biriken çevre sorunları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneliş artmaktadır. Gelecek yüzyılda yenilenebilir enerji kaynaklarını yöneten ve ileri teknoloji altyapısına sahip olan ülkeler enerjide söz sahibi olacaklardır.

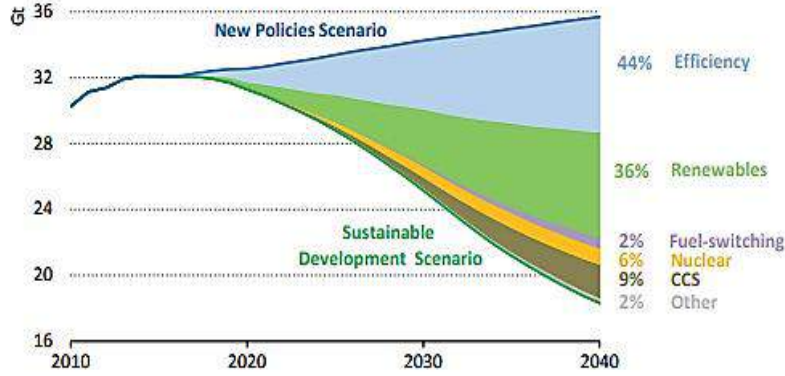
Enerji kaynaklarının verimli kullanılması ve mevcut kullanılan teknolojilerin verimlerinin artırılmasına yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Enerji kaynaklarının verimli kullanılması ve kullanılan teknolojilerin verimlerinin artırılması konusundaki çalışmalar ülkemiz tarafından desteklenmektedir. Bu amaçla, ülkemizde olduğu gibi tüm dünyada mevcut enerji kaynaklarından etkin şekilde yararlanılmalıdır. Enerji kaynaklarına uygun dönüşüm teknolojilerinin kullanılmalı ve enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmelidir [1].



Şekil 1. OECD ve OECD Dışı Ülkelerde Nüfus, GSYİH Büyüme Oranı ve Birincil Enerji Talebi Durum-Senaryoları [2]

OECD ve OECD dışı ülkelerde (Şekil 1) kurgulanan senaryolara göre 2040 yılına kadar fosil yakıtların kullanımı artış görülmektedir. Fosil yakıtların taleplerinde nispeten azalma olmasına rağmen bu yakıtlar önemini korumaya devam etmektedir. Nüfus artışı ve GSYİH büyüme oranına bağlı olarak enerji taleplerinde hızlı bir artış görülmektedir. Ekonomik kalkınma nedeniyle enerji kullanım oranı artış göstermekte, bu durum yıllık enerji tüketimini arttırmaktadır. Küresel enerji talepleri benimsenecek enerji politikalarına bağlı olarak farklılık gösterebilecektir. Küresel enerji talepleri güncel senaryolara göre yıllık %2.3, 2040 yılında ise %80 oranında artış beklenilmektedir. Dünyada belirlenen kaynaklara göre toplam petrol rezervleri 1,7 trilyon varil olarak tahmin edilmektedir. Enerji taleplerine bağlı olarak yaklaşık 51 yıllık talepleri karşılayabileceği düşünülmektedir. Doğal gaz rezervi yaklaşık 187 trilyon metreküp olarak belirlenmiştir. Doğal gaz rezervleri küresel üretimi 53 yıl karşılayabilmektedir. Dünya kömür rezervleri

tüm yakıtlar arasında en yüksek rezerve sahiptir. Küresel üretimi 114 yıl boyunca karşılamayabileceği tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payı yıllara göre artış göstermektedir. 2040 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payı %16.1 olacağı beklenilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları yıllık ortalama %9.8 büyüme oranı ile en hızlı büyüme oranına sahip kaynaklardır [2].



Şekil 2. Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Politikaları ve Küresel Karbondioksit Salınımı Azaltma Hedefleri[3]

Sürdürülebilir kalkınma politikaları ve enerji senaryolarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artacağı (Şekil 2) öngörülmektedir. Kullanılan teknolojilerin gelişimini sağlamak enerji kaynaklarının verimli kullanılması için hayati öneme sahiptir. Enerji kaynaklarının verimli olarak kullanılması ve enerji teknolojilerinin gelişmesi fosil enerji kaynakları dâhil diğer enerji kaynaklarının da verimli kullanılması anlamına gelir. Verimli enerji senaryosunda yöntem ve varsayımlara bakıldığında enerjinin verimli kullanımı ekonomik olarak yarar sağlayacağı gibi çevresel sorunlarla mücadelede büyük katkı sunmaktadır. Enerji kaynaklarının verimli kullanılması çevreye olan karbondioksit (CO₂) salınımı oranını azaltır. Bu durum hava kalitesini arttırırken yaşanan sağlık sorunlarına engel olur. Mevcut verimlilik hedeflerini gerçekleştirmek, artan enerji talebine cevap vermede yarar sağlayacaktır.

TE modüllerin elektrik enerjisi üretebilmesi için yüzeyler arası sıcaklık farkı oluşturulmalıdır. Sıcaklık farkı oluşturmak için fosil yakıtları kullanmak ekonomik olmamaktadır. % 3 ile % 5 verim aralığında çalışan modüller için enerji harcayarak sıcaklık farkı oluşturmak çok defa denenmiş ve çalışılmış bir konudur. Enerji harcayarak yapılan çalışmalarda; enerji harcamadan sıcaklık farkı oluşturulması savunulmuştur. Bu nedenle jeotermal enerji, endüstriyel atık ısı veya güneş enerjisi kaynak olarak kullanılması sistemin ekonomik olarak çalışabilmesi için önemlidir. Bu nedenle PV panellerin yüzeyinde biriken atık ısı kaynak olarak seçilmiştir. PV'lerin çalışma şartları esnasında yüzeylerinde biriken atık ısı ekonomik bir kaynak özelliği taşımaktadır.

Bu çalışmada fotovoltaik (PV) modüllerin yüzeyinde biriken atık ısının çekilmesi ve modül verimlerinin arttırılması için panellerde faz değiştiren madde (FDM) kullanılmıştır. Deneysel çalışmada panellerde biriken atık ısı enerjisi panellerden ısı borusu ve FDM vasıtasıyla çekilmiştir. Çekilen ısı enerjisi termoelektrik jeneratörlerde (TEJ) elektrik üretmek için ısı farkı oluşturmak amacıyla deneysel çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada amaç PV panel veriminin düşmesine neden olan ısı enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesidir. Bu durum ayrıca toplam verimin artışına da neden olmaktadır. PV modül sıcaklığı dengelenmesi nedeniyle panel ömürleri ve verimlerinde artış görülmektedir. TEJ ile atık ısı elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Sistem birlikte çalıştırılarak hibrit bir sistem oluşturulmuştur.

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğanın döngüsü sonucunda var olan ve ömrü bu döngüye bağlı olan enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi çevre kirliliğini önleme açısından çok önemlidir. Karbon salınımının düşürülmesi ve küresel ısınmanın azaltılması için, yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi, biokütle enerjisi, dalga enerjisi ve hidrojen enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji türleridir. Türkiye konumu ve potansiyelleri gereği, bu enerji kaynaklarına sahip ülkeler arasındadır. Sahip olduğu teknoloji altyapısına bağlı olarak bu kaynakları kullanabilir durumdadır. Türkiye, özellikle güneş, rüzgâr ve jeotermal olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynakları için yüksek bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle var olan potansiyellerin enerji üretimindeki oranlarının arttırılması gerekmektedir. Türkiye'de 2018 yılı için yenilenebilir enerji kaynaklarından (Tablo 1) enerji üretim değerleri verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları kaynağın durumuna göre aylık değişken oranlarda elektrik enerjisi üretimi için kullanılmıştır.

Tablo 1. Türkiye'nin 2018 Yılı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Elektrik Üretimi [4]

Kurulu Güç (MW) Enerji Kaynakları

Yakıt Türleri	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Jeotermal	1.063,7	1.063,7	1.129,2	1.129,2	1.129,2	1.144,2	1.163,6	1.163,6	1.198,7	1.282,5	1.282,5	1.282,5
Hidrolik Barajlı	19.914	19.914	19.881,0	19.922,1	20.121,5	20.304,1	20.503,5	20.503,5	20.503,5	20.503	20.504,8	20.536,1
Hidrolik Akarsu	7.532,5	7.535,1	7.574,4	7.579,5	7.593,4	7.600,6	7.600,6	7.602,7	7.643,2	7.737,0	7.740,9	7.747,7
Rüzgâr	6.507,6	6.523,6	6.561,9	6.615,1	6.617,1	6.620,6	6.641,7	6.685,1	6.760,5	6.825,0	6.886,9	6.942,3
Güneş	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	31,9	81,7	81,7	81,7	81,7
Rüzgâr (Lisanssız)	40,9	46,9	46,9	49,4	50,3	50,8	50,8	57,3	57,3	58,2	62,2	63,1
Hidrolik (Lisanssız)	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,6	7,6
Güneş (Lisanssız)	3.455,8	3.919,2	4.567,4	4.605,0	4.680,0	4.703,0	4.721,0	4.761,0	4.768,0	4.842,0	4.920,8	4.981,2
Toplam	38.544,8	39.032,8	39.791,1	39.930,6	40.221,8	40.453,6	40.711,5	40.812,5	41.020,3	41.337,3	41.487,4	41.642,2

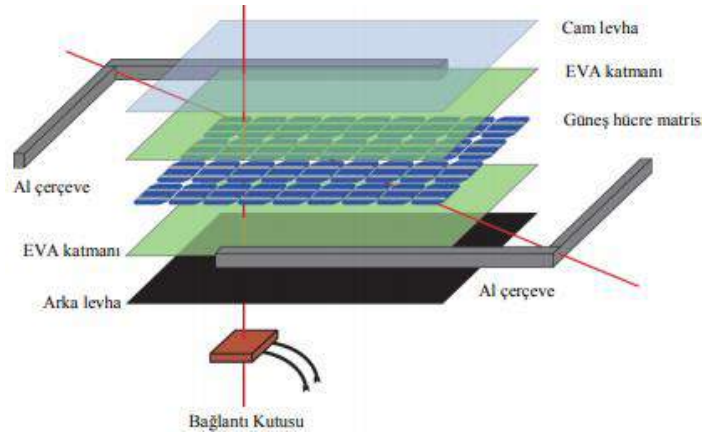
Türkiye coğrafi konumu nedeniyle, güneş enerjisi açısından yüksek potansiyele sahip bir ülkedir. Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2737 saat ve ortalama güneş enerjisi potansiyeli 1527 kWh/m²-yıl seviyesindedir. Ortalama olarak günlük 7,5 saat güneşlenme süresine sahiptir [5]. Türkiye'nin güney bölgesi güneş ışınımı açısından diğer bölgelere göre daha yüksek potansiyele sahiptir. Bölgelerine göre farklılık görülmesine rağmen potansiyel açısından ülkemizin tüm bölgelerinin ışınım değerleri; Avrupa birliği ortalamasından yüksek durumdadır. Türkiye Almanya'nın sahip olduğu güneş enerji potansiyelinden daha fazla potansiyele sahipken; kurulu güç bakımından Almanya'nın %8'i kadardır (Tablo 2).

Tablo 2. Ülkelerin 2017 Yılı Sonu Yenilenebilir Elektrik Kurulu Güç Kapasitesi (GW) [6]

Enerji Kaynakları	Çin	ABD	Hindistan	Almanya	Türkiye	Avrupa	Dünya
Hidrolik	313	80	47	5,6	27,2	127	1114
Rüzgar	188	89	33	56	6,8	169	539
Biyoenerji	15	16,7	9,5	8	0,63	40	122
Güneş PV	131	51	18,3	42	3,42	108	442
Güneş Termal	0	1,7	0,2	0	0	2,3	4,9
Jeotermal	0	3,6	0	0	1,06	0,9	13,5
Toplam	647	242	108	111,6	39,11	447,2	2235,4

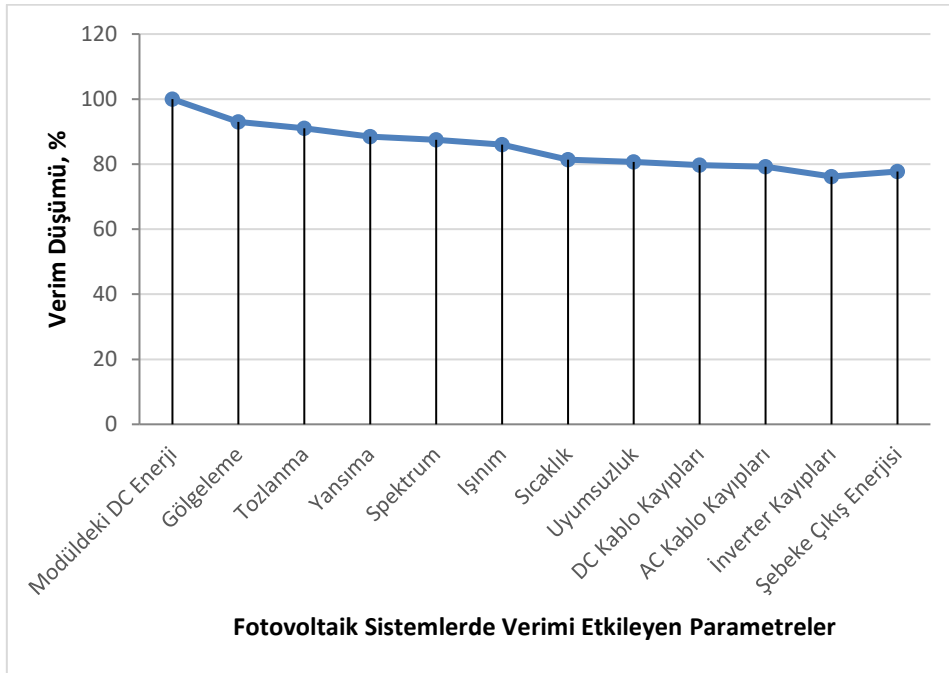
1.2. Fotovoltaik Piller

Fotovoltaik piller, yüzeylerine güneşten gelen ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerden üretilmiş hücrelerdir. Güneşten gelen fotonları elektrığe dönüştüren bu etkiye fotovoltaik etki denilmektedir. Hücrenin üzerine güneş ışınımı düştüğünde bir Elektro Motor Kuvvet (EMK) indüklenir. Üretilen elektrik enerjisi bağlantı noktasından sisteme entegre edilerek kullanılmaktadır (Şekil 3). Güneş hücreleri EVA (Etilen Vinil Asetat) katmanı arasına yerleştirilmiş durumdadır. Çerçeve içerisine yerleştirilen hücreler PV panelleri oluşturmaktadır. PV panellerde kaynak olarak güneş enerjisi kullanıldığı için, bu yapı güneş enerjisinden elektrik üretim yöntemlerinden birini oluşturur. Güneş pilleri modül sayısına ve bağlantı şekline bağlı olarak üretilmesi planlanan güç için fotovoltaik sistemlerde çeşitli ebatlarda imal edilmektedir. İmal edilen güneş pili, sistem elemanlarına uyumlu tasarlanmış olan fotovoltaik sisteme bağlantısı yapılarak kullanıma hazır hale getirilmelidir.



Şekil 3. Güneş Pili'nin Çalışma Prensibi [7]

Laboratuvar şartlarında testleri yapılan PV panellerin verimleri yüksek olsa da kullanım şartlarına bağlı olarak gerçek uygulamalarda verimleri düşük çıkmaktadır. PV pillerin verimleri fotovoltaik pilin üretildiği hammaddeye, yapısına ve ölçüm şartlarına göre değişmekle birlikte; verimi %5 ile %35 arasında değişmektedir. Fotovoltaik modüllerin verimleri büyük oranda çalışma sıcaklığına bağlıdır. Aktif soğutma sistemi kullanılan modüllerin verimi %9 dolaylarında artmaktadır. Kombine solar Fotovoltaik (PV) ve Termoelektrik Jeneratör (TEJ) sisteminin PV arkasında doğrudan uygulanmasıyla birlikte daha büyük güçlerde elektrik üretimi yapılabilmektedir. PV modülün verimi; PV malzeme bileşimine, güneş ışınım şiddetine, ortam sıcaklığı ve modül sıcaklığına bağlıdır [8,9,10].



Şekil 4. PV Sistemlerde Verimi Etkileyen Parametreler ve Yüzde Değerleri [11]

Atık ısı kaynaklarından biri fotovoltaik modüllerin yüzeyinde biriken ısı enerjisidir. Bu ısı enerjisi modüllerin verimlerini düşürmekle birlikte ömürlerini de azaltmaktadır. Modül yüzeyinden FDM ve ısı borusu ısı çekmesiyle birlikte sıcaklık artışı nedeniyle meydana gelen olumsuz etkiler azalmaktadır. Modüllerde sıcaklığın istikrarlı hale gelmesi sonucunda sıcaklığın etkisinden kaynaklanan verim düşümü yaşanmaz. Çekilen atık ısı Termoelektrik Jeneratör (TEJ) vasıtasıyla tekrar elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

PV sistemlerde verim düşüşüne neden olan etkiler sadece sıcaklık nedeniyle değildir. Sıcaklık artışı haricinde; gölgeleme kayıpları, tozlanma sonucunda oluşan kayıplar, kablo kayıpları, inverter kayıpları gibi (Şekil 4)'te verilen birçok kayıp bulunmaktadır. Bu kayıplar verim düşümüne neden olmakta ve sistemin toplam verimini olumsuz etkilemektedirler.

1.3. Faz Değiştiren Madde

Isı geçişi cisimler arasında sıcaklık farkı nedeniyle meydana gelir. Yüksek sıcaklığa sahip cisimden düşük sıcaklığa sahip cisme doğru sıcaklık değerleri eşit oluncaya kadar ısı geçişi devam eder. Isı enerji bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin atomik veya moleküler düzeydeki kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır. Termal enerji depolama yöntemleri ısı yöntem ve kimyasal yöntem olmak üzere ikiye ayrılır. Kullanılan ısı yöntemleri; duyulur ısı ve gizli ısının depolanması şeklinde yapılmaktadır. Kimyasal yöntemler tepkime ısı, kimyasal ısı pompası ve termokimyasal ısı pompasından oluşur. Isı depolama yöntemleri tercih edilirken çevreci olması önemli olmakla birlikte ekonomik olması da önemlidir. Ekonomik olmayan ısı depolama yöntemleri kullanımı zamanla uygulama alanı bulamamaktadır. Çevreye olumsuz etkileri nedeniyle kullanımı yasaklanan yöntemlerde literatürde yöntemler olarak bulunmaktadır.

FDM seçimi yapılırken faz değiştiren maddenin tasarlanan sistemin yapısına uygun olmasına ve faz değiştirme sıcaklığı sistemin çalışma sıcaklığına uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca FDM'nin ısı depolama kapasitesi sistemdeki ısı yükü karşılayabilmelidir. Birim hacimde inorganik maddeler organik maddelere kıyasla iki kat fazla depolama kapasitesine sahiptirler [13,14].

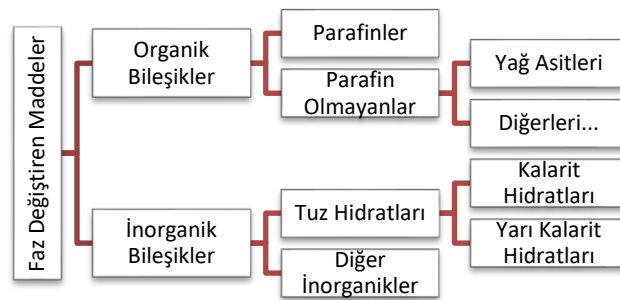
FDM'lerin faz değiştirme süreleri, ısı tutma kapasiteleri ve ısı transferi katsayıları çok önemlidir. Bu konularda son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Faz değişim sürecinin hızlandırılması için ısı değiştiricisi tasarımı yapılmalıdır. FDM'de ısı transferini artırmak için en etkili yol kanatçık kullanımıdır. Kanatçıklı yapı basit olması, kolay temini ve düşük maliyeti nedeniyle tercih edilmektedir [18].

Faz Değiştiren Maddeler (FDM) faz değişimi esnasında termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan veya geri veren maddelerdir. FDM'ler faz değiştirme sıcaklığından yüksek değerde bir sıcaklıkta ısıya maruz bırakıldığında materyalin iç enerjilerinde önemli oranda bir değişim olur (Tablo 2). Bu durum materyalin faz değiştirmesine neden olur. Faz değiştirme sınırında materyalin sıcaklığı sabit kalırken; depolama materyalinin faz değiştirmesi ile ortaya çıkan gizli ısı depolanabilir [12]. FDM'ler duyulur ve gizli ısı depolama kapasitesi yüksek olan materyaller kullanılarak üretilir. Yapılan çalışmada termal enerji depolamak için Kalsiyum Klorür Hekzahidrat kullanılmıştır. Kimyasal formülü $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ olan FDM'nin erime sıcaklığı $29,7^\circ\text{C}$, erime ısı 171 kJ/kg 'dir.

Tablo 2: FDM Türleri ve Özellikleri [12]

FDM	Moleküler Formül	Erime Noktası ($^\circ\text{C}$)	Erime Isısı (kJ/kg)
Kalsiyum Klorür Hekzahidrat	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	29,7	171
Oktadekan	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CH}_3$	24,4	244
Potasyum Florür Tetrahidrat	$\text{KF} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	19	231

Sistemde kullanılması düşünülen FDM sistem güvenliğini olumsuz olarak etkilememelidir. FDM'ler inorganik ve organik olmak üzere ikiye ayrılırlar (Şekil 5). İnorganik ve Organik FDM'ler tuz hidratları ve parafinler gibi alt kategorilere ayrılmaktadır. İnorganik ve organik FDM'ler ısı depolama kapasiteleri, faz değiştirme sıcaklıkları, faz dönüşüm sayıları, ısı iletkenlikleri, kolay temin edilebilirlikleri ve ekonomiklik durumları nedeniyle birçok avantaj ve dezavantaja sahiptirler. Kullanılacak olan FDM sahip olduğu özelliklere göre seçilerek enerji depolamak amacıyla kullanılmaktadır.

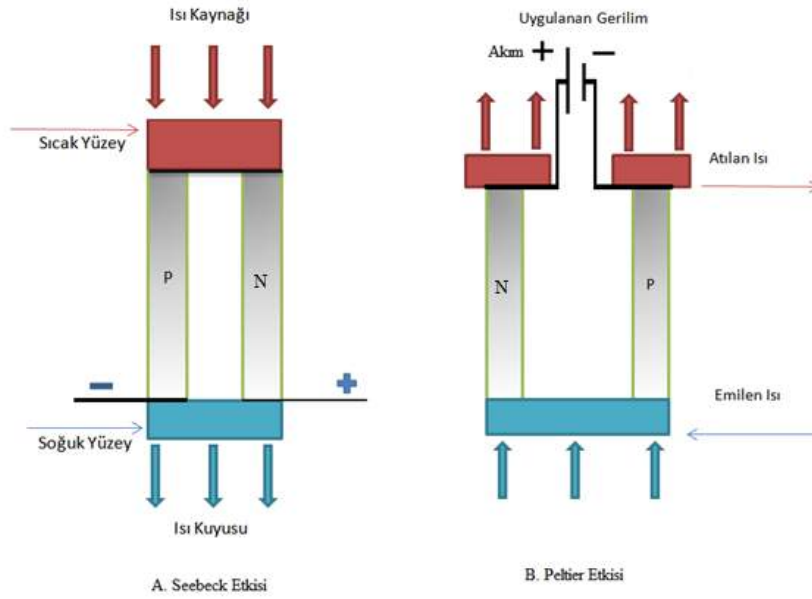


Şekil 5: Faz değiştiren materyallerin sınıflandırılması [15]

FDM ile ısı aktarımı etkin olarak yapılabilmesi için FDM türüne göre uygun kapsülleme uygulamaları bulunmaktadır [16]. FDM'lerin kapsüllemesi için nano, mikro ve makro kapsülleme yöntemleri kullanılabilir [17]. Isı depolama uygulamaları ile ihtiyaç halinde depolanan ısı enerjisi çekilerek kullanılabilir. Termal enerji depolama sistemlerinin amacı, enerjinin kullanılmayan kısmının veya ihtiyaç fazlasının depolanmasını ve ihtiyaç duyulduğunda bu enerjinin kullanılmasını sağlamaktır. Böylelikle birincil kaynaklardan enerji tüketimi azaltılması mümkündür. Ayrıca ısı kontrolünün sağlanmasıyla depolanan enerji sayesinde, anlık değişimlerin yaşanması engellenebilmektedir.

1.4. Termoelektrik Jeneratörler

Termoelektrik Modül'ler (TEM) üretiminde iki farklı türden yarı iletken malzeme birbiriyle birleştirilir. Yarı iletkenler ile oluşturulmuş devre üzerinden elektrik akımı geçirilmesiyle sıcaklık farkı meydana gelir. Uçlara uygulanan doğru akımın yönüne göre yüzeylerden biri ısınırken diğer yüzey soğur. Uygulanan akım sonucunda yarıiletkende sıcaklık farkı oluşmasına neden olan etkiye Peltier etkisi denilmiştir. Yarı iletken malzemelerin bağlantı noktaları farklı sıcaklıklara maruz kalırsa Seebeck etkisi ortaya çıkar. Farklı iki yarı iletken uç noktalarından birleştirilip temas noktaları farklı sıcaklıklarda tutulursa; (Şeki 6) elektronlar sıcak uçtan soğuk uca doğru hareket eder ve devre üzerinde EMK indüklenir. TEM bir araya getirilerek Termoelektrik Jeneratörleri (TEJ) oluşturulmaktadır. TEM'ler yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluşturulduğunda doğru akım üreten elemanlardır. TEM'ler yapılarında hareketli parçaları barındırmaması nedeniyle yapıları basittir ve bu nedenle ömürleri uzundur. TEM'ler ısıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılabildiği gibi elektrik üretmek için jeneratör olarak kullanılabilmektedir.



Şekil 6: Seebeck, Peltier, TE Bileşenleri [19]

TEJ'lerin temiz ve gürültüsüz özellikleri birçok zemin uygulamalarında bir elektrik güç kaynağı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca (PV/TEJ) sistemi üzerinde güç dönüşüm verimliliğini geliştirmek için yapılan çalışmalardır. Bu sistemlerde bir birleşik termodinamik model sunulmakta, bir uzay ortamında melez PV/TEJ sisteminin çalıştırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca, çok objektif NSGA-II genetik algoritma hem optimum çıkış gücü açısından hem de kütle bakımından TEJ tasarımı optimize etmek için kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları optimize PV/TEJ sisteminin daha yüksek verime sahip olduğunu göstermiştir [20].

Araçların egzozuna veya soba yüzeyi borusuna bağlı TEJ atık ısı geri kazanım sistemleri enerji üretimi için tasarlanmıştır. Modül yüzeyleri için sıcaklık farkı oluşturulmuş ve sıcaklık farkından yararlanılarak termoelektrik jeneratörlerin yapısı ve performansı incelenmiştir. Sistemde soğutma amacıyla kullanılan havanın, suyun debisi değiştirilip diğer parametrelerin ölçümü deneysel olarak incelenmiştir. Su debisindeki artı ve eksi değişimlerin elektrik üretim değerlerini pozitif ve negatif yönde değiştirdiği gözlemlenmiştir. TEJ teknolojilerinin sistem verimi düşük olmasına rağmen yüzeyler arası sıcaklık farkının artırılması ve soğutulan yüzeyden ısı çekiminin yükseltilmesi ile birlikte verim artışı sağlanabileceği savunulmuştur [21,22].

PV/T/FDM sistemini açık hava şartlarında karakterize edilerek; sistemde ısınan su ısı depolamak ve elektrik üretmek için kullanılmıştır. Sistem tasarımında bir PV modül, bir termal kolektör ile birleştirilmiştir. Böylece ısı, bir akışkan (su) vasıtasıyla FDM'ye gömülü bir ısı eşanjöründen geçirilmiştir. Su ile elde edilen sıcaklığın FDM'si olmayan bir PV/T sistemine kıyasla yaklaşık olarak 5.5°C daha yüksek olduğu saptanmıştır. FDM'ler PV/T sisteminde, ısı depolamanın etkili bir aracı olarak görülmektedir [23].

Farklı iki yarı iletken malzemenin temas noktaları farklı sıcaklıklarda tutulmasıyla elektrik gerilimi oluştuğu görülür. Bu gerilime "Seebeck voltajı" denir (Şekil 6). P tipi yarıiletken malzeme kullanıldığında α değeri ise pozitif olurken N tipi yarıiletken malzeme kullanıldığında α değeri negatif olmaktadır. Devreden ölçülen gerilim, malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. Soğuk (ısı çekilen) yüzey sıcaklığı T_c , sıcak (ısı verilen) yüzey T_H sıcaklıkları ile sıcaklık farkı oluşturulur. Oluşturulan sıcaklık farkı ve iç direnç değerleri P_{max} değerlerini belirlemektedir. Maksimum güç çıkışı

sağlayabilmek için ($R_L=R$) olmalıdır. Yüzeyler arası sıcaklık farkı $T_H - T_C = \Delta T$ olduğunda gerilim ($V_{max} = V_R$) olur. Maksimum verimlilik η_{max} hesaplanır. α ' değerini; devreyi oluşturan malzemelerin özellikleri etkilemektedir.

TEJ için kalite faktörü (Z) tanımlaması yapılır.

$$Z = \alpha^2 / R_{kth} \quad (1)$$

TEJ elektrik akımı (A) aşağıdaki akım denklemi kullanılarak hesaplanır.

$$I = \alpha \Delta T / [(1 + m)R] \quad (2)$$

TEJ'ün elektrik direnci (R), Seebeck sabiti (α) ve RL Yükün elektrik direnci (Ω) aşağıdaki gibidir. TEJ'in verimliliği yük değeri etkilemekte ve yüke bağlı olarak değişmektedir. Yük direnci için $R_L=mR$ varsayılır, m yük direncinin TEJ iç dirence oranıdır.

$$\alpha = 2V_{max} / \Delta T \quad (3)$$

$$R = R_L = V_{max}^2 / P_{max} \quad (4)$$

TEJ verimliliğini ve elektrik güç çıkışının hesaplamak için sıcak yüzeye uygulanan termal güç girişi bilinmelidir. TEJ yüzey sıcaklığı T_c , sıcak (ısı verilen) yüzey T_H sıcaklıkları verim için kullanılabilir.

$$\eta = I^2 R_L / Q_H \quad (5)$$

Yük karşılaştırmasında, yük ve iç direnç arasındaki oran m_{opt} denklemi ile hesaplanır.

$$m_{opt} = 1 + Z_{ave} 0.5 \quad (6)$$

TEJ maksimum verimliliğinde Burada m_{opt} değeri m direnç oranının değeridir. Maksimum güç üretimi esnasında verim η_{max} olur. Bu durumda akım değeri aşağıdaki şekilde bulunur.

$$I_{max} = \alpha \Delta T / 2R \quad (7)$$

TEJ'in termal iletkenliği eşitlik 8'den elde edilebilir.

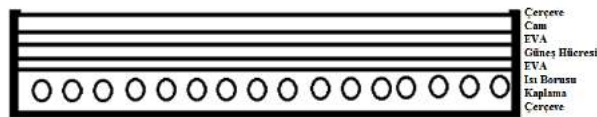
$$\kappa_{th} = \alpha^2 / RZ \quad (8)$$

Meydana gelen Seebeck etkisi metallerde termokupl (ısı sensörü) gibi kullanılırken yarıiletkenlerde jeneratör gibi kullanılır. TE modüllerin elektrik üretimi için gerekli sıcaklık değerleri; modülün dinamik, ısıl ve elektriksel özelliklerine bağlıdır. Çalışan modülün çektiği akımı, uçlarında düşen gerilimi herhangi bir yüzeyindeki sıcaklığının ölçülmesi ile hesaplanabilmektedir [24].

2. Materyal ve Metot

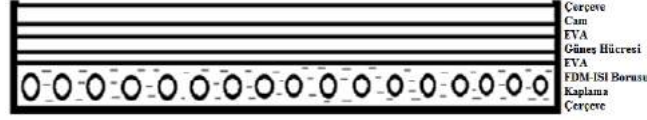
2.1. Sistemin Kurulumu

Bu çalışmada PV panellerin kullanım şartları esnasında panellerin yapısında biriken atık ısı FDM kullanılarak çekilmiştir. Çekilen atık ısı TEJ'lerin çalıştırılmasında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan 10W iki adet monokristal ve iki adet polikristal panel kullanılmıştır. Panel yüzeyinde ısı depolama malzemesi olarak Kalsiyum Klorür Hekzahidrat kullanılmıştır. Panel arka yüzeyine ısı borusu ve FDM kaplama yapılarak panel yüzeyinde ısı birikmesi sonucunda sıcaklık yükselmesi engellenmiştir.



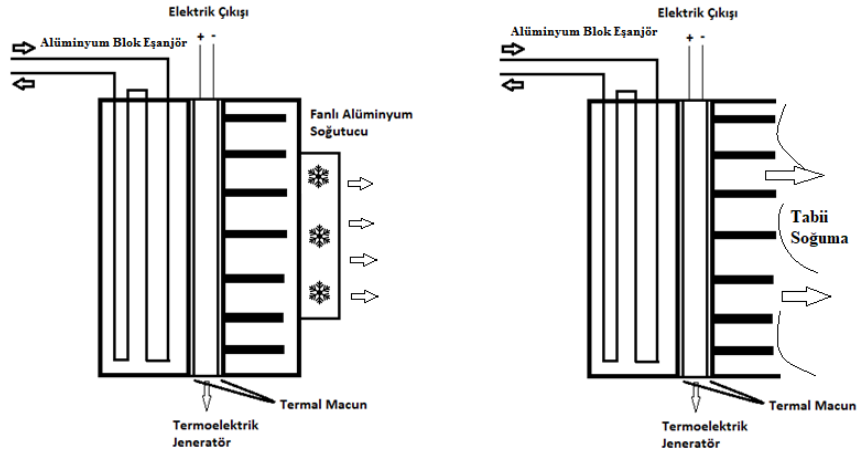
Şekil 7: PV/T Panel

Monokristal panellerden biri ve polikristal panellerden biri, ısı borusu montajı yapılarak kullanma hazır hale getirilmiştir (Şekil 7). Isı borusu malzemesi olarak bakır boru kullanılmıştır. Isı borusu panel çıkışında dolaşım pompasına eklenerek TEJ devresine bağlanmıştır.



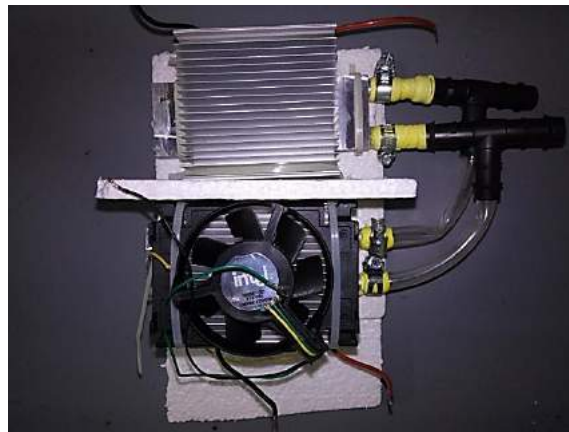
Şekil 8: PV/T/FDM Panel

Monokristal panellerden biri ve polikristal panellerden biri, ısı borusu montajı yapılarak kullanma hazır hale getirilmiştir (Şekil 8). Isı borusu malzemesi olarak bakır boru kullanılmıştır. Isı borusu panel çıkışında dolaşım pompasına eklenerek TEJ devresine bağlanmıştır. Isı borusu çevresi ithal olarak alınan faz değişim sıcaklığı 29,7 °C olan FDM (Kalsiyum Klorür Hekzahidrat) ile kaplanarak panel yüzeyine sabitlenmiştir. Kullanılan FDM sayesinde panellerin anlık sıcaklık değişimi engellenmiştir. Gün içinde 80°C sıcaklık seviyesine paneller çıkarken geceleri ise ani sıcaklık düşümü yaşanmaktadır. FDM'ler sayesinde sıcaklık değişiminde denge sağlanarak verim düşümü engellenmiş, panel ömürleri arttırılmıştır.



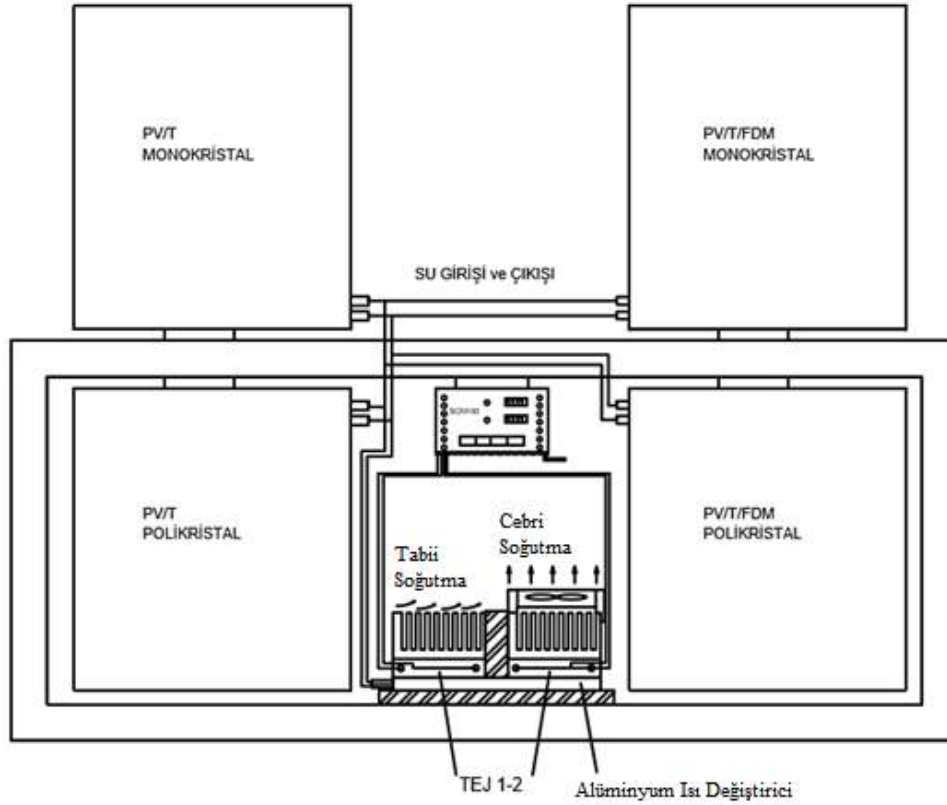
Şekil 9: Atmosferik (TEJ1) ve Cebri (TEJ2) Soğutuculu Termoelektrik Jeneratör

TEJ içinde, ısı enerjisi elektrik enerjisine dönüştüren TES/TE marka modül kullanılmıştır. Isı değiştirici olarak (841x122x12) mm ölçülerinde alüminyum su soğutma blokları kullanılmıştır. FDM içine yerleştirilmiş bakır ısı boruları panel yüzeyinde ve FDM içinde biriken atık ısıyı emerek içinde sirküle edilen suya aktarmaktadır. Bakır boru içinde sirküle olan akışkan sıcaklığı yükselerek izoleli borular içinden TEJ'e gelmektedir. Bu akışkan TEJ'ün ısıtılması gereken yüzeyin sıcaklığını yükseltmek için kullanılmaktadır. TEJ modülün bir yüzeyi bu sayede yüksek sıcaklığa ulaşmaktadır. TE modülün ikinci yüzeyi için ise ısı değiştiricinin yüzeyine alüminyum kanatlı bloklar yerleştirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 10. Termoelektrik Jeneratör Düzeneği

Alüminyum kanatlı blokların birincisinde tabii (atmosferik) soğuma uygulaması yapılmıştır (Şekil 10). Böylelikle fan kullanımından kaynaklı enerji tüketimi bulunmamaktadır. Alüminyum kanatlı blokların diğerinde ise cebri olarak 12V DC fan ile cebri olarak soğuma gerçekleştirilmiştir. Böylelikle TE modülün elektrik üretmesi için gerekli olan sıcaklık farkı oluşturulmuştur. Yüzeyden geçirilen hava tabii ve cebri yol ile iki farklı uygulama yapılmıştır.



Şekil 11: PV/T ve PV/T(FDM) Sistem Şeması

Deneylede ölçüm noktalarında sıcaklıkların alınabilmesi için K tipi termokupllar kullanılmıştır. K tipi termokupllar SCN 100 cihazında buzlu su ile (0 °C) kalibrasyonu yapılarak ölçümlere hazırlanmıştır. SCN 100 yirmi kanal ölçüm cihazı kullanılarak ölçümler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ortam sıcaklığı, su giriş sıcaklığı, sıcak su çıkış sıcaklığı, soğuk su giriş sıcaklığı, soğuk su çıkış sıcaklığı, kaydedilmiştir. Cebri ve atmosferik olarak soğutulan yüzeylerin sıcaklıkları takip edilmiştir. Sistemde kullanılan suyun sıcak farkı değerlerine bağlı olarak gerilim ve akım değerlerinde değişimler gözlemlenmiştir. Isı değiştirici, direnç devresi, aydınlatma ve şarj devreleri bir kabin içerisine yerleştirilmiş olup; meteorolojik koşullara ve darbelere karşı korunmuştur (Şekil 11).

Deneylede yapılırken PV/T ve PV/T/FDM kullanılan monokristal ve polikristal panellerin çalışma şartlarında yüzeyinde biriken atık ısının çekilebilmesi için sisteme eklenen cebri su dolaşım sistemi çalıştırılmaktadır. Sirkülasyon pompası sistemden aldığı enerji ile sistemde kullanılan suyu cebri olarak dolaştırmaktadır. Sistemde akışkan olarak kullanılan su panellerden ısıyı emerek TEJ'in yüzeyine ısı vermek için kullanılmaktadır (Şekil 12). Sistemde 4 adet monokristal panel ve 4 adet polikristal panel bulunmaktadır. Monokristal panelden biri ve polikristal panellerden biri referans panel olarak konulmuştur. Sistemde iki adet yedek panel yer almakta bu nedenle toplam 8 panel bulunmaktadır.



Şekil 12: Deneyle Düzenneği

2.1.1. Sistemin Çalışması

PV paneller çalışma koşullarında güneş ışınlarına maruz bırakıldığında elektrik enerjisi üretmeye başlar. PV sistemin elektrik üretmesi esnasında sistemde istenilmeyen olaylarda yaşanmaya başlamaktadır. PV sistemin sıcaklığı yükselmekte ve sıcaklığa bağlı

verim düşümü yaşanmaktadır. Tasarlanan sistemde ısı borusu ve FDM panel sıcaklığının ani yükselişini engellemektedir. Panel sıcaklığı ısı borulu sistemde su tarafından emilerek azaltılmaktadır. Sistemden sağlanan sıcak akışkan sirkülasyon pompası vasıtasıyla TEJ devresine yönlendirilmektedir. FDM kullanılan panellerde ise ısı emilimi FDM tarafından yapılmaktadır. FDM'ye ısı geçişinin başlamasıyla birlikte maddenin sıcaklığı yükselmeye başlamaktadır. Sıcaklığı yükselen FDM faz değişimine uğrayarak 29°C sıcaklıkta sıvı hale dönüşmektedir. Sistem sıcaklığı artmaya devam ettiğinde FDM sıcaklığı sıvı halde yükselmeye devam etmektedir. Sıcaklığı yükselen FDM' den cebri olarak ısı emilimi sistemde kullanılan su tarafından yapılmaktadır. Su tarafından çekilen ısı TEJ sistemine yönelerek enerji üretmek amacıyla kullanılmaktadır.

TEJ sistemine gelen sıcak akışkan jeneratörün bir yüzeyini ısıtmak için ısı eşanjörünün içerisinden geçirilmektedir. Isı ejanjörü TEJ'e yüzeyleri arasında termal macun sürülerek sabitlenmiştir. TEJ için gerekli olan ısı kaynağı, ısı değiştirici vasıtasıyla sağlanmış bulunmaktadır. TEJ' ün elektrik üretebilmesi için soğuk yüzey tabii ve cebri olarak iki adet alüminyum kanatlı ısı değiştirici ile sağlanmıştır. Cebri ısı değiştiriciler TEJ'in soğuk yüzeyini sabit sıcaklıkta tutması için sistemle birlikte aktif olarak çalışmaktadır. Böylelikle yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluşan TEJ uçlarında elektrik akımı oluşmaya başlamaktadır. Sıcaklık farkına bağlı olarak sistemin çıkış gerilimi değişmektedir. Sistemden sağlanan güç akü sisteminde depolanmakta ve iki adet doğru akım lambası tarafından kullanılmaktadır. Sistemde TEJ giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmüştür. Anlık değişimler 0.5 saniye aralıklar ile kaydedilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

PV/T ve PV/T-FDM kullanılan panellerde panel sıcaklıkları PV panellere göre düşüktür. PV panellerde panel sıcaklığı gün içerisinde 90°C yükseldiği görülmektedir. PV/T panellerde panel sıcaklığı maksimum 50°C sıcaklığa yükselmektedir. PV/T-FDM kullanılan panellerde sıcaklık 40°C sıcaklığa kadar yükselmektedir. Bu durumda panel sıcaklığından kaynaklı ortaya çıkan verim düşümü en az PV/T-FDM kullanılan panellerde gerçekleşmektedir. İkinci olarak PV/T paneller sıcaklığın yükselmesini engellemek ve verim düşüşüne ortadan kaldırmak için ideal bir yoldur.

Deneyisel çalışmamızda PV/T kullanılarak, TEJ ile elektrik üretimi sağlanmıştır (Şekil 9). Tasarlanan sistem şebekeden bağımsız çalışan bir sistemdir. Sistemde üretilen enerji depolama sisteminde depolanmakta ve sistem içinde harcama yapılmaktadır. Modül yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluşmaya başladığında elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Modül yüzeyleri sıcaklık farkı arttıkça gerilim ve buna bağlı akım değerleri yükselmektedir. Güç değerleri sıcaklık farkına bağlı olarak 5W'a çıkmaktadır. Sıcaklık farkı değerlerine orantılı olarak gerilim ve akım değerleri yukarı ve aşağı yönlü değişim göstermektedir. Kaynak olarak kullanılan atık ısının sürekli olarak istenilen değerlerde sistemi desteklemesi ve soğutucu kaynağın sürekli olarak sabit sıcaklıkta tutulması sistem verimi açısından önemi deney verilerinde görülmüştür. Sistem sıcaklık farkı sabit tutulamaması durumunda gerilim dalgalanması yaşanmaktadır. Anlık değişimleri azaltmak adına sıcaklık farkının korunarak yüzey sıcaklıklarını dengede tutmak; hem kaynak, hem de kuyu kabul edilen atmosfere iyi bir ısı transferi ile mümkün olacaktır.

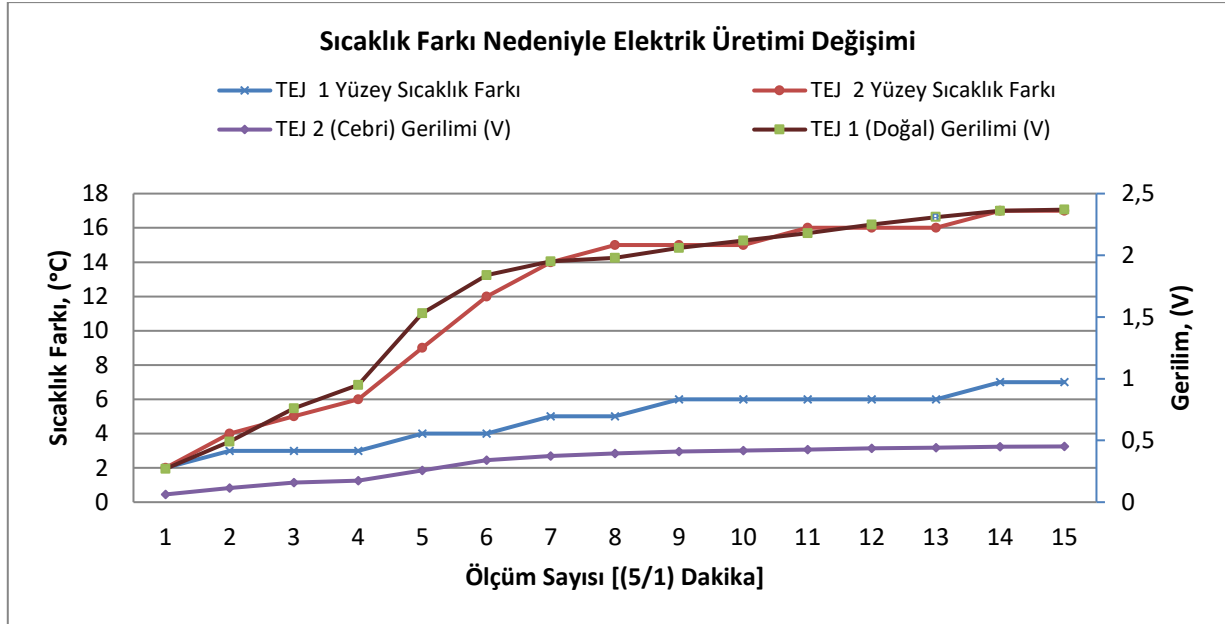
Tablo 3'de görüldüğü gibi deneyler esnasında PV/T den gelen TEJ besleme suyu sıcaklığı ve TEJ çıkış suyu sıcaklıkları ölçülmüştür. TEJ 1 ile TEJ 2 için sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları ölçülmüş olup, sıcaklık farkı değerleri Şekil 13'te verilmiştir. Sıcaklık farkı nedeniyle oluşan gerilim değerleri SCN 100 ile kaydedilerek Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Kanatçık sıcaklıkları başlangıç durumunda atmosfer sıcaklığına sahip bulunmaktadır. Su sirkülasyonu başlamasıyla birlikte yüzey ve kanatçık sıcaklıkları artış göstermektedir.

Tablo 3: PV/T-TEJ Ölçüm Değerleri

Ölçüm No	Giriş Suyu (°C)	Çıkış Suyu (°C)	TEJ 1 Yüzey (°C)	TEJ 1 Kanatçık (°C)	TEJ 2 Yüzey (°C)	TEJ 2 Kanatçık (°C)	Ortam sıcaklığı (°C)	TEJ 1 (Doğal) Gerilimi (V)	TEJ 2 (Cebri) Gerilimi (V)
1	28	27	27	25	27	25	25	0.27	0.45
2	30	28	29	26	29	25	25	0.49	0.83
3	31	29	30	27	30	25	25	0.76	1.15
4	33	31	32	29	32	26	25	0.95	1.25
5	37	35	35	31	35	26	25	1.53	1.85
6	40	37	38	34	38	26	25	1.84	2.45
7	42	38	40	35	40	26	25	1.95	2.69
8	44	41	42	37	42	27	25	1.98	2.85
9	44	42	42	36	42	27	25	2.06	2.95
10	45	43	42	36	42	27	25	2.12	3.02
11	46	43	43	37	43	27	25	2.18	3.07
12	47	44	44	38	44	28	25	2.25	3.14
13	48	45	44	38	44	28	25	2.31	3.17
14	49	46	45	38	45	28	25	2.36	3.24
15	49	46	45	38	45	28	25	2.37	3.25

Deneylerde ortam sıcaklığı 25 °C olarak ölçülmüştür. TEJ 1 ve TEJ 2 için PV/T atık ısı giriş sıcaklığı (Tablo 3)'te verilmiştir. Giriş sıcaklıkları 33 ile 49°C arasında değişmektedir. TEJ giriş suyu sıcaklığı yükselmesiyle birlikte modül

yüzey sıcaklıklarında artış görülmektedir. Yüzeyler arasında sıcaklık farkı oluşmasıyla birlikte gerilim değerleri okunmaya başlanılmıştır. Yüzeyler arasında sıcaklık farkı arttıkça ölçülen gerilim değerleri artış göstermektedir (Şekil 13). Tabii dolaşımli soğutma sisteminde sistem çalışması esnasında ısı çekilen yüzey sıcaklığı tabii dalaşımın yetersiz kalması nedeniyle artış göstermektedir. Cebri dolaşımli sistemde soğutma yüzeyinde sıcaklık artışı 1-3°C arasında gerçekleşmiştir. Bu nedenle cebri dolaşımli sistemde yüzeyler arası sıcaklık farkı fazladır. Sıcaklık farkının artışı nedeniyle ölçülen gerilim değerlerinde artış görülmektedir.



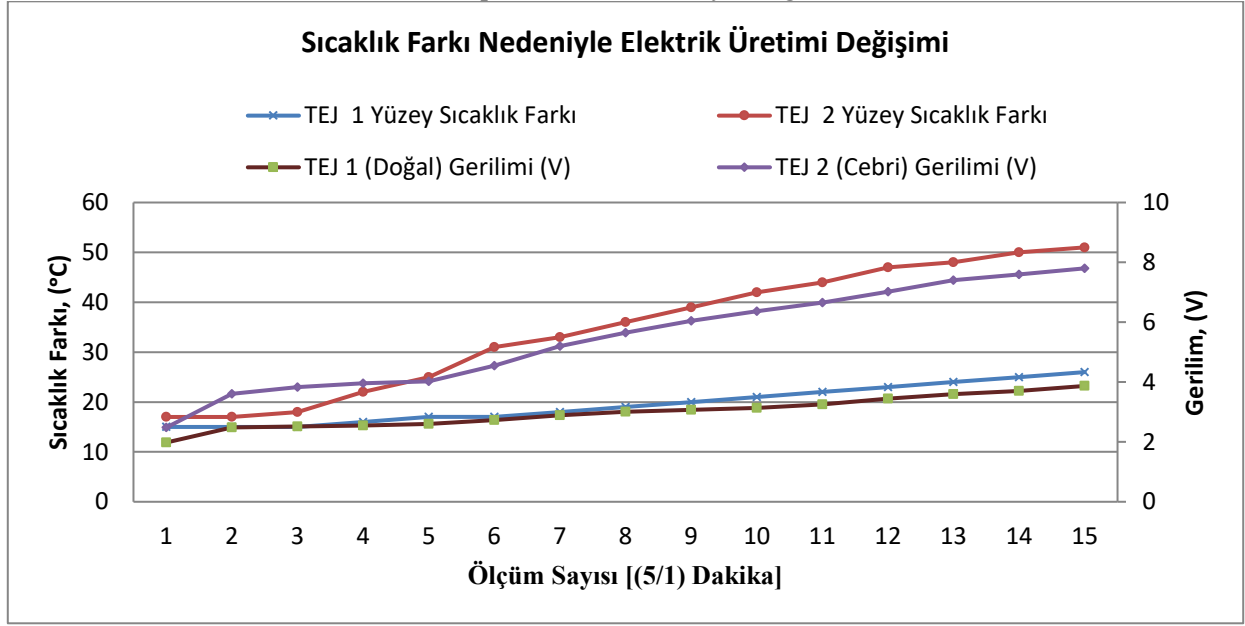
Şekil 13: Deney 1 TEJ Sıcaklık Farkı Elektrik üretimi

PV/T 'de ısı taşıyıcı olarak kullanılan su sıcaklığı, sirkülasyon olması nedeniyle 49°C üzerine çıkmamıştır. 49°C üzerindeki sıcaklıklarda TEJ davranışının ve veriminin hesaplanabilmesi için Tablo 4'te verilen (46-89) °C giriş sıcaklıklarında deneyler tekrar edilmiştir. Yapılan ölçümlerde sıcaklık farkı artmasıyla birlikte yüzey sıcaklıkları arasındaki farkın arttığı görülmüştür. Bu nedenle üretilen enerji miktarında artış gözlemlenmiştir. Cebri soğutmanın yapıldığı TEJ 2'de ısı çekilen yüzeyin sıcaklığı fazla yükselmemesi nedeniyle ölçülen gerilim değeri tabii soğutmaya göre yüksek olmuştur. Deneylerin yüksek sıcaklıklarda yapılması mümkündür fakat PV/T'de bu sıcaklıkları görmek mümkün değildir.

Tablo 4: PV/T-TEJ Ölçüm Değerleri

Ölçüm No	Giriş Suyu (°C)	Çıkış Suyu (°C)	TEJ 1 Yüzey (°C)	TEJ 1 Kanatçık (°C)	TEJ 2 Yüzey (°C)	TEJ 2 Kanatçık (°C)	Ortam sıcaklığı (°C)	TEJ 1 (Doğal) Gerilimi (V)	TEJ 2 (Cebri) Gerilimi (V)
1	46	44	43	28	43	26	25	1.98	2.48
2	47	45	44	29	44	27	25	2.48	3.61
3	49	46	45	30	45	27	25	2.52	3.83
4	55	51	49	33	49	27	25	2.55	3.96
5	59	55	52	35	52	27	25	2.60	4.02
6	63	59	58	41	58	27	25	2.73	4.55
7	67	64	60	42	60	27	25	2.89	5.20
8	71	68	64	45	64	28	25	3.01	5.65
9	75	71	67	47	67	28	25	3.07	6.05
10	78	74	70	49	70	28	25	3.14	6.37
11	81	77	72	50	72	28	25	3.25	6.65
12	84	80	75	52	75	28	25	3.45	7.02
13	87	82	77	53	77	29	25	3.60	7.40
14	88	83	79	54	79	29	25	3.70	7.60
15	89	84	80	54	80	29	25	3.87	7.80

PV/T-FDM araştırmasında ölçülen sıcaklık değerleri TEJ'in çalışmasına elverişli olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık farkına bağlı, orantılı olarak gerilim-akım değerlerinde yukarı ve aşağı yönlü değişim göstermektedir (Şekil 14). TEJ'ler için soğutma sisteminin enerji harcamadan doğal yollarla yapılması önemli bir husustur. Fakat cebri soğuma yapılması halinde sıcaklık farkı değerleri artış gösterdiği için verim artmaktadır. TEJ'ler %3 ile %5 veriminde çalıştıkları için doğal yollarla veya ekonomik olarak cebri soğutmanın sağlanması yararlı olacaktır.



Şekil 14: Deneysel 2 TEJ Sıcaklık Farkı Elektrik üretimi

TE jeneratörler jeotermal enerji ile çalışabildikleri gibi motor bloklarındaki atık ısı, egzoz gazı atık ısı, soba ve kazan yüzeyleri ısı, merkezi ve bireysel ısıtma sistemleri suyu ısı ile çalışabilmektedir. Jeotermal enerji uygulamalarında oluşan atık ısı, motor bloklarında oluşan atık ısı ayrıca kimyasal süreçlerde oluşan atık ısı TEJ'ler ile enerji üretimi ve geri kazanımında değerlendirilmesi gereken bir konudur. Jeotermal enerjinin yenilenebilir enerji kaynağı olması nedeniyle, kullanım sonrası 50°C sıcaklığa sahip ise TEJ ile bu kaynağı değerlendirmek en avantajlı yollardan biri olur. Güneş enerjisinin odaklanması şeklinde yapılan uygulamalarda elde edilen ısı enerjisi modüllerin sıcak yüzeyi için kullanılabilir kaynaklardır. Soğuk yüzeyler için şebeke suyu ile soğutma, hava ile soğutma ve cebri soğutmalar kullanılabilir. Yapılan çalışmalara bakıldığında düşük verime sahip TEJ'lerin atık ısıdan veya doğal kaynaklardan faydalanmak suretiyle ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak gelecekte kullanımının daha yaygın hale geleceği beklenilmektedir.

TEJ'lerin verimli olarak çalışabilmesi için yüzeyler arasında sıcaklık farkının oluşturulması gerekmektedir. Yüksek sıcaklığa sahip yüzeyin oluşturulması önemli olmakla birlikte düşük sıcaklığa sahip yüzeyin oluşturulması önemlidir. Düşük yüzey sıcaklığının oluşturulabilmesi için; bu yüzeyden ısı çekmek enerji harcamadan yapılması yararlı olacaktır. Doğal yolla yapılan atmosferik soğutma sıcaklık farkının azalmaması koşuluyla yararlıdır. Bunun için enerji ve ekserji analizleri yapılarak yüzey şekilleri belirlenip optimum yüzey alanı hesapları yapılmalıdır. Cebri soğutma uygulamalarında sıcaklık farkı değerlerinin istenilen aralıklarda tutulması mümkün olmakla birlikte, sistem büyüklüğüne göre verimlilik ve amortisman süreleri cazip hale getirilmelidir.

4. Sonuç

Termoelektrik modül kullanarak imal edilmiş olan TEJ'ler elektrik üretmek amacıyla kullanılabilir. TEJ'lerden elektrik üretmek için kullanılacak enerji kaynağı ekonomik olmak zorundadır. TEJ'lerde elektrik enerjisi üretmek amacıyla ekonomik olmayan enerji kaynakları kullanılırsa sistem ekonomikliğini kaybetmektedir. Bu nedenle TEJ'lerde elektrik enerjisi üretmek için atık ısılar ve yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmelidir. Atık ısıları kullanarak elde edilecek güç sistem verimini arttırmakla birlikte çevreye bırakılan atık ısıyı yararlı işe dönüştürmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak çalıştırılan TEJ'ler, kullanılan kaynağın ekonomik olması nedeniyle tercih edilmektedir. Termoelektrik modül verimlerinin artmaya devam ettiği günümüzde TEJ'ler diğer enerji kaynaklarını kaynak olarak kullanarak ekonomik elektrik üretimi yapabileceklerdir.

TEJ'lerde sistem veriminin artması için, ısı verilen yüzey ile ısı çekilen yüzelerde ısıtma ve soğutma işleminin iyileştirilmesi gerekmektedir. Termoelektrik modüllerin yüzey alanı küçük olması nedeniyle yüzeye ısı vermek ve yüzeyden ısı çekmek için optimizasyon çalışmaları yapılmalıdır. Sıcaklık farkının artması TEJ veriminin artması anlamına gelir. Bu nedenle kaynak ekonomik olmakla birlikte ısı transferinin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Son yıllarda PV hücrelerde görülen verim artışı, TEM ve TEJ'lerde görülebilmesi halinde, bağımsız ve hibrit elektrik üretim uygulamalarında daha fazla yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Bu araştırma Karabük Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından KABÜBAP-17-DR-435 no'lu Doktora projesi kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

Semboller

CO ₂	: Karbondioksit
Kth	: Termal İletkenlik
I	: Akım
Mopt	: Optimal Verim
η	: Verim
P	: Güç
R	: Elektrik direnci
R _L	: Yük Direnci
V	: Gerilim
TC	: TEJ'in soğuk taraf sıcaklığı
TH	: TEJ'in sıcak taraf ısısı
Z	: Kalite Faktörü
ΔT	: Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı

Kısaktmalar

EMK	: Elektro Motor Kuvvet
DC	: Doğru Akım
FDM	: Faz Değiştiren Madde
PCM	: Phase Change Material
PV	: Fotovoltaik
PV/T	: Fotovoltaik/Termal
PV/TEJ	: Fotovoltaik/Termoelektrik Jeneratör
PV/T/FDM	: Fotovoltaik/Termal/Faz Değiştiren Madde
TEJ	: Termoelektrik Jeneratör
TEM	: Termoelektrik Modül

Kaynakça

- [1] Mert, M.S., Sert, M., Mert, H.H., 2018. Isıl Enerji Depolama Sistemleri İçin Organik Faz Değiştiren Maddelerin Mevcut Durumu Üzerine Bir İnceleme, Journal of Engineering Sciences and Design, 6(1), 161-174.
- [2] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. "Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü Raporu". https://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_15/mobile/index.html#p=2 (05.04.2018).
- [3] Energy Efficiency 2018. "Market Report Series Energy". <https://webstore.iea.org/market-report-series-energy-efficiency-2018> (05.04.2018).
- [4] Türkiye Enerji İletim Anonim Şirketi. "Enerji Raporu". <https://www.teias.gov.tr> (05.04.2018).
- [5] Külçü, R., Cihanalp, C., Süslü, A., Yılmaz, D. 2016. Adana'da Global Aylık Ortalama Günlük Güneş Işınımının Modellenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [6] Koç, A., Yağlı H., Koç Y., Uğurlu İ., 2018. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makine, Derleme, 59(692), 86-114.
- [7] Çiçek, O., Karatay, S. (2018). Küçük & Orta Ölçekli Fotovoltaik (PV) Modül Üretimi için Dijital PID Sıcaklık Denetimli Laminatör Deney Kiti Tasarımı ve Üretimi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 6 (4), 814-823.
- [8] Bahaidarah H, Subhan A, Gandhidasan P, Rehman S., 2013. "Performance Evaluation of a PV (Photovoltaic) Module By Back Surface Water Cooling For Hot Climatic Conditions", Energy, 59, 445-453.
- [9] Bjork R, Nielsen KK. 2015. "The Performance of a Combined Solar Photovoltaic (PV) and Thermoelectric Generator (TEG) System Nielsen", Solar Energy, 120, 187-194.
- [10] Gedik E., 2016. "Experimental Investigation of Module Temperature Effect on Photovoltaic Panels Efficiency", Journal of Polytechnic, 19, 569-576.
- [11] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası. "Güneş Enerji Santrallerinde Kayıplar". http://www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf (05.06.2018).
- [12] Konuklu Y., 2008. Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama İle Binalarda Enerji Tasarrufu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana Türkiye.

- [13] Verma, P., V., Singal, S. 2008. Review of mathematical modeling on latent heat thermal energy storage systems using phase-change material. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 999-1031.
- [14] Mohamed, S. A., Al-Sulaiman, F. A., Ibrahim, N. I., Zahir, M. H., Al-Ahmed, A., Saidur, R., Yılbaş, B.S., Sahin, A., 2017. A review on current status and challenges of inorganic phase change materials for thermal energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1072-1089.
- [15] Kylili, A., Fokaides, P. A., 2016. Life Cycle Assessment (LCA) of Phase Change Materials (PCMs) for building applications: A review. *Journal of Building Engineering*, 6, 133-143.
- [16] Zhao, C., Zhang, G., 2011. Review on microencapsulated phase change materials (MEPCMs): Fabrication, characterization and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3813-3832.
- [17] Su, W., Darkwa, J., Kokogiannakis, G., 2015. Review of solid-liquid phase change materials and their encapsulation technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 373-391.
- [18] Eslamnezhad, H. and Rahimi, A.B., 2017. "Enhance heat transfer for phase-change materials in triplex tube heat exchanger with selected arrangements of fins", *Applied Thermal Engineering*, 113: 813-821.
- [19] Doğdu MF., Şişman A. 2013. Termoelektrik Soğutucuların Performansına Doğrudan Temaslı Isı Değiştiricilerin Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [20] Kwan TH, Wu X. 2016. "Power and Mass Optimization Of The Hybrid Solar Panel And Thermoelectric Generators", *Applied Energy*, 165, 297-307.
- [21] Özkaymak M, Baş Ş, Acar B, Yavuz C, 2014. "Atık Baca Gazı Kullanımı ile Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı kullanımının Deneysel İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part:C, Tasarım Ve Teknoloji, Part C*, 2(4), 289-298.
- [22] Kunt MA., 2014. "İçten Yanmalı Motor Atık Isılarının Geri Kazanımında Termoelektrik Jeneratörlerin Kullanımı", *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3,2, 192-203.
- [23] Brovne MC, Norton B, Cormack SJ. 2016. "Heat Retention Of A Photovoltaic/Thermal Collector With PCM", *Solar Energy* 33, 533-548.
- [24] Ahıska R., 2000. "Termoelektrik Modülün Dinamik Çıkış Parametrelerinin Araştırması İçin Yeni Bir Yöntem", *Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22-4, 709-716



Büyük Menderes Grabeni (Batı Anadolu) Neojen Öncesi Petrol Sisteminin Organik Hidrojeokimyasal Kanıtları ve Potansiyel Kapanlar

Adil Özdemir^{1*}

¹Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3975-2846)

(İlk Geliş Tarihi 15 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.540436)

ATIF/REFERENCE: Özdemir, A. (2019). Büyük Menderes Grabeni (Batı Anadolu) Neojen Öncesi Petrol Sisteminin Organik Hidrojeokimyasal Kanıtları ve Potansiyel Kapanlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 325-354.

Öz

Bu çalışma, Büyük Menderes grabeninin (Batı Anadolu) batı kısmının organik hidrojeokimyasal çalışmalar ve tektonik veriler ile petrol ve doğalgaz potansiyelinin değerlendirilmesi için yapılmıştır. Çalışma, üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, literatürden çalışma alanının stratigrafik ve tektonik özellikleri incelenmiştir. Böylece, organik hidrojeokimyasal ve jeofizik değerlendirmeler için gerekli olan jeolojik veriler derlenmiştir. İkinci aşamada, manyetik ve gravite haritaları hazırlanmıştır. Bu verilerin değerlendirilmesi sonucunda, çalışma alanındaki petrol kapanı olabilecek yapılar belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise, belirlenen potansiyel kapanlara yakın jeotermal kuyulardan alınan su numunelerinde Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) analizleri yapılarak çalışma alanının petrol ve doğalgaz potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucunda, su numunelerinin tamamında hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Sularda tespit edilen hidrokarbonların kaynağının belirlenmesi için organik jeokimyasal ve biomarker karakteristikler kullanılmıştır. Su numunelerindeki n-alkan hidrokarbonların tamamı, olgun petrol hidrokarbonlarıdır. Bu olgun hidrokarbonlar, çalışma alanındaki petrol sisteminin kanıtıdır. Olgun petrol hidrokarbonları içeren suların varlığı nedeniyle, çalışma alanında belirlenmiş olan kapanlar yüksek petrol ve doğalgaz potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Büyük Menderes Grabeni, petrol ve doğalgaz arama, organik hidrojeokimya, suda petrol analizi (TPH), biomarker

Organic Hydrogeochemical Evidence of Pre-Neogene Petroleum System of Buyuk Menderes Graben and Potential Traps (Western Turkey)

Abstract

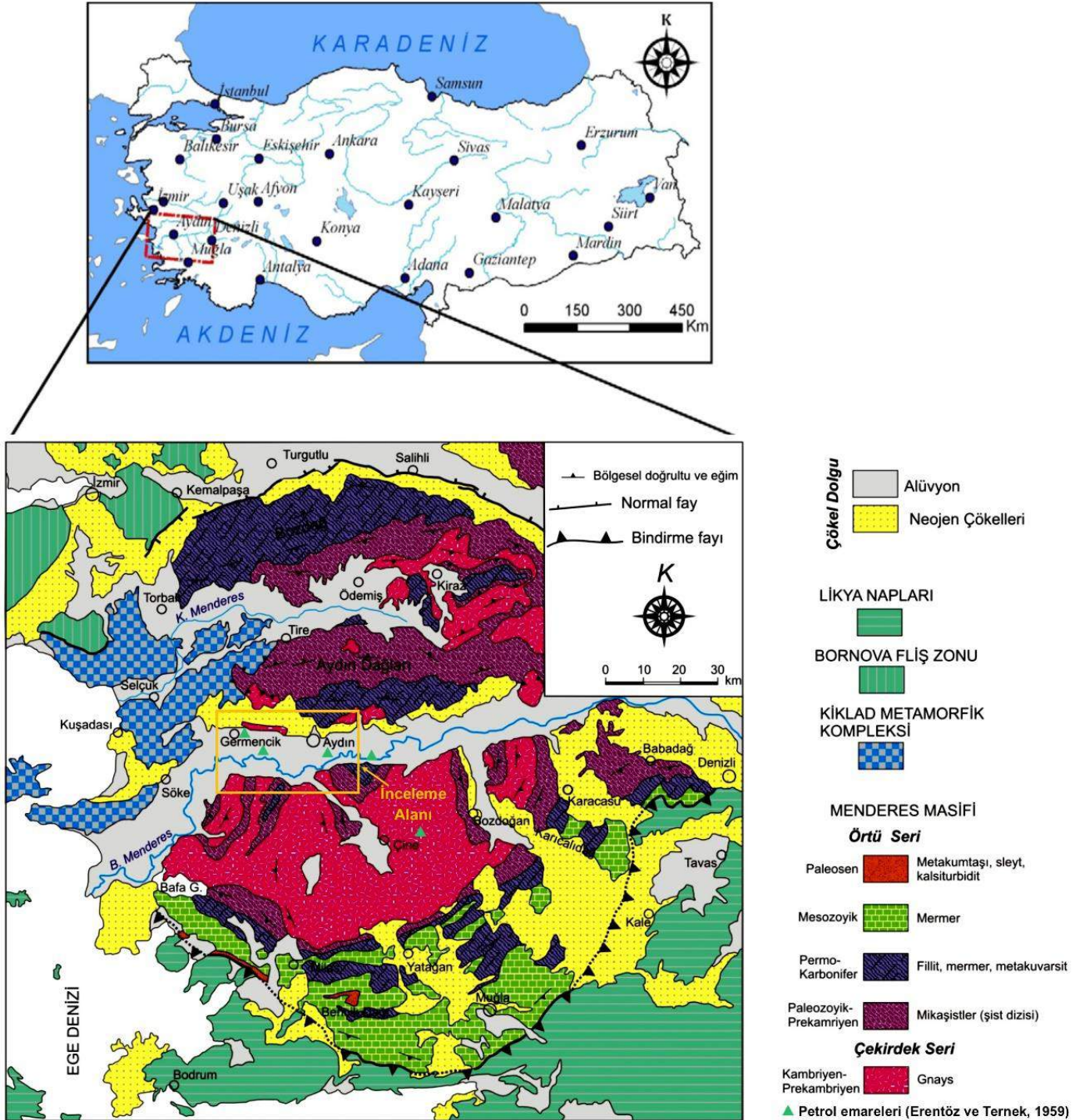
This study is made to evaluate the oil and gas potential of the western part of Buyuk Menderes graben (Western Turkey) with organic hydrogeochemical studies and tectonic data. The study has conducted in three steps. In the first step, the stratigraphic and tectonic characteristics of the study area from the literature were examined. Later, the geological data which required for organic hydrogeochemical and geophysical evaluations has compiled. In the second step, aeromagnetic and gravity maps were prepared. Potential petroleum traps in the study area with this data has determined. Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) analysis in water samples taken from the geothermal wells which near to the potential petroleum traps has performed. As a result of this analysis, it has been determined hydrocarbons in water samples. Organic geochemistry and biomarker characteristics have used to determine the source of hydrocarbons in the waters. All of the n-alkane hydrocarbons in water samples are maturing petroleum hydrocarbons. These maturing hydrocarbons are evidence of the petroleum system in the study area. Due to the presence of maturing petroleum hydrocarbons in the waters, the traps which identified in the study area have a high potential.

Keywords: Buyuk Menderes Graben, oil and gas exploration, organic hydrogeochemistry, oil in water analysis (TPH), biomarker

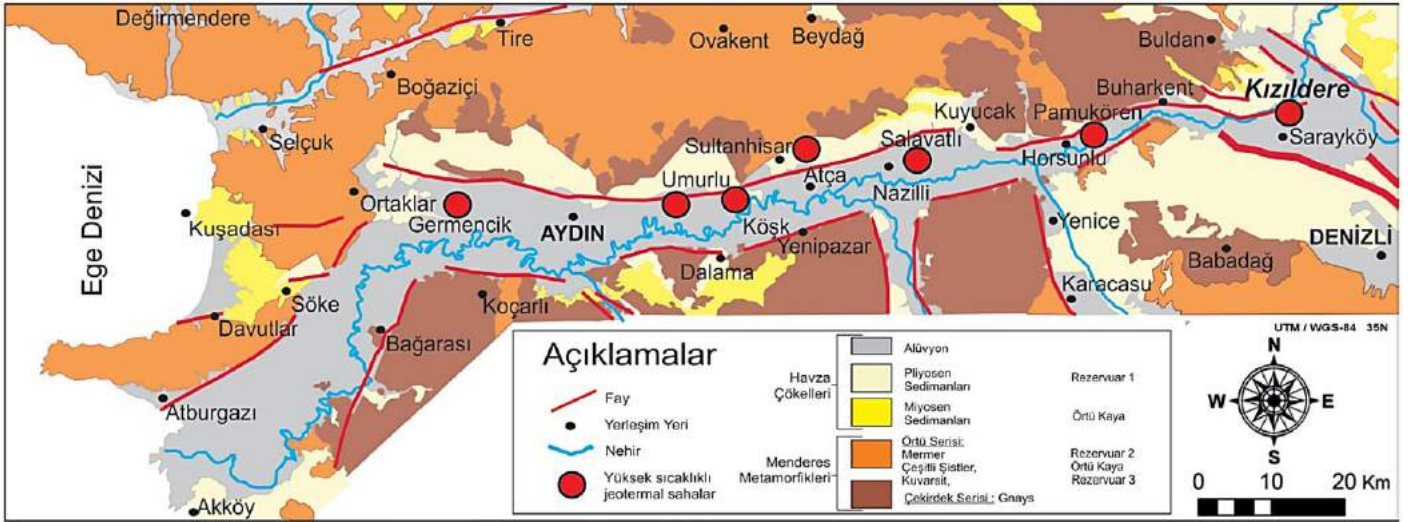
* Sorumlu Yazar: Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3975-2846, adilozdemir2000@yahoo.com

1. Giriş

İnceleme alanı, Büyük Menderes grabeninin batı kesiminde ve Aydın ili sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Büyük Menderes Grabeni (Batı Anadolu) üzerine çok sayıda genel jeolojik ve jeotermal amaçlı çalışma yapılmıştır. Türkiye'nin en yüksek entalpili jeotermal sahaları, Büyük Menderes Grabeni içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Bu çalışma, Büyük Menderes Grabeninin batı kısmını oluşturan inceleme alanının petrol ve doğalgaz potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik ilk çalışmadır. Çalışma alanı olarak Büyük Menderes grabeninin seçilme nedeni, Erentöz ve Ternek (1959) tarafından çalışma alanı olan grabenin batı kısmında 5 adet petrol emaresi varlığının bildirilmesi (Şekil 1) ve grabenin petrol ve doğalgaz potansiyeli üzerine yeterli sayıda çalışma yapılmamış olmasıdır.



Şekil 1. Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş jeoloji haritası (Okay, 2001'den)



Şekil 2. Büyük Menderes grabeninin yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaları (Haklıdır ve diğ., 2012).

Büyük Menderes Grabeninin petrol jeolojisine yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (bazı çalışmalar; Özçelik ve diğ., 2010; Çiftçi ve diğ., 2010; Gürgey ve diğ., 2007; Yazman ve diğ., 2004). Erentöz ve Ternek (1959) çalışmasında, çalışma alanı ve yakın çevresinde 5 adet petrol emaresi olduğunu belirtmiştir. 2003 yılında 965 m derinliğinde delinen ve kuru olarak sonuçlanan Nazilli-1 kuyusu, grabende petrol arama amaçlı delindiği bilinen ilk ve tek kuyudur. Sarayköy’de (Denizli) delinen KB-5 jeotermal kuyusunda petrol emaresine rastlanmıştır (Gürgey ve diğ., 2007).

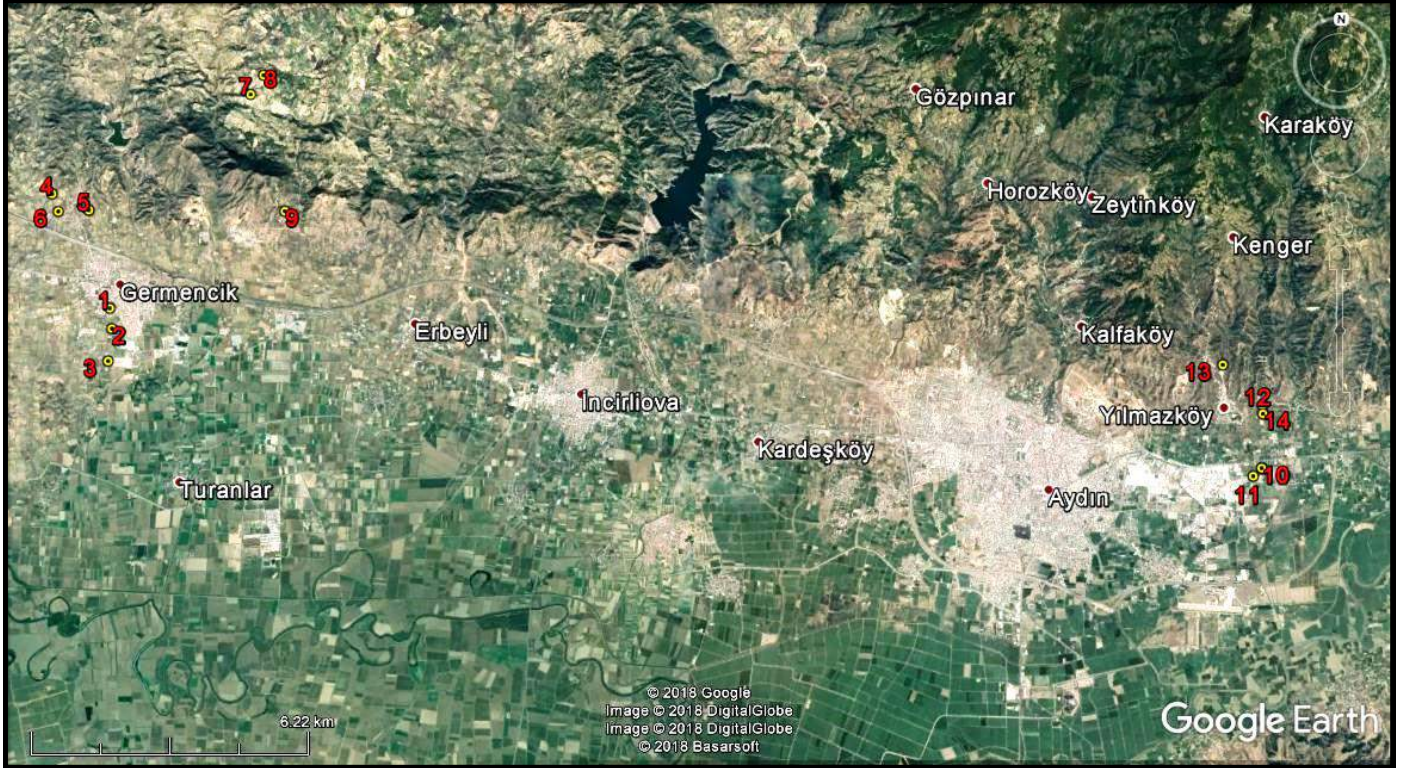
İnceleme alanındaki paleotektonik dönem temel birimlerini, Menderes Masifi’ne ait metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Ege bölgesinde geniş bir alan kaplayan masifin uzun eksenini KD-GB doğrultulu olup, KB kenarı İzmir-Ankara Zonu’nun (Brinkmann, 1966) ofiyolitik kaya topluluğu ile güney kenarı ise Likya Napları ile sınırlandırılmaktadır (Şekil 1). Batı uzantısı Kiklad Masifi ile sonlanırken, doğuda parçalanarak kalın Neojen örtünün altında kaybolmaktadır (Dora ve diğ., 1992). Menderes Masifi, Pan-Afrikan yaşlı bir temel ve onu üzerleyen Paleozoyik-Erken Tersiyer yaşlı örtü serilerinden yapıldır (Dora ve diğ., 1992; Şengör ve diğ., 1984). Okay (2001), Menderes Masifi’ni oluşturan kaya birimlerinin stratigrafisini detay olarak tanımlamıştır. Buna göre, masifin çekirdeği Prekambriyen yaşlı gnaylardan oluşur. İstif üste doğru Paleozoyik yaşlı mika-şistler, Permo-Karbonifer yaşlı metakuvarsit, siyah fillit ve koyu renkli rekristalize kireçtaşları ile devam eder (Şekil 1). Tire ve Söke ilçe merkezlerinin batısında, Menderes metamorfiklerine ait şistler, Menderes Masifi’nden farklı serpantin ve metabazit katmanlı şist ve Mesozoyik mermerlerden meydana gelen bir istifte örtülmektedir (Okay, 2001).

Çalışma kapsamında, bölgedeki elektrik üretimi amaçlı olarak kullanılan, yüksek sıcaklıklı (> 150 °C) buhar baskın akışkan içeren ve derinlikleri 1500 - 2500 m olan jeotermal kuyulardan 1 litre ölçekli plastik şişelerle 14 adet klasik hidrojeokimyasal örnek alım yöntemi ile su numunesi alınmıştır (Şekil 3 ve 4). Alınan su numunelerinde, organik hidrojeokimyasal değerlendirmelere veri oluşturmak amacıyla TPAO Ar-Ge Merkezinde Hach metodu esas alınarak titrasyon ve UV spektrofotometre cihazı ile iyot, brom, klor (API RP45 yöntemi) ve gaz kromatografi cihazı ile TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizleri yapılmıştır. Bu analizler ile su numunelerin doğrudan toplam konsantrasyonları (mg/lt cinsinden) belirlenmiş ve değerlendirmelerde bu konsantrasyonlar kullanılmıştır.

Çalışma, üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, literatürden çalışma alanının stratigrafik ve tektonik özellikleri incelenmiştir. Böylece, organik hidrojeokimyasal ve jeofizik değerlendirmeler için gerekli olan jeolojik veriler derlenmiştir. İkinci aşamada, manyetik ve gravite haritaları hazırlanmıştır. Bu verilerin değerlendirilmesi sonucunda, çalışma alanındaki petrol kapanı olabilecek yapılar belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise, belirlenen potansiyel kapanlara yakın jeotermal kuyulardan alınan su numunelerinde TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizleri yapılarak çalışma alanının petrol ve doğalgaz potansiyeli değerlendirilmiştir.

2. Suda TPH Analizinin Petrol ve Doğalgaz Aramada Kullanımı

Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH)’nin saptanması, yeraltılarının petrol kirliliği hakkında bilgi vermektedir. TPH analizi, C10 - C40 karbon aralığında kalan alan yardımıyla TPH değerinin (hidrokarbon miktarının) hesaplanmasıdır. Bu karbon yelpazesi, düşük kaynama noktasına sahip uçucu hidrokarbon bileşiklerinden, yüksek kaynama noktası aralığında bulunan uçucu olmayan bileşiklere kadar uzanmaktadır (Sakroon, 2008). Sudaki TPH konsantrasyonlarını belirlemek için gaz kromatografisi (GC) analizleri yapılmaktadır. Suda TPH tayininde (Suda Petrol), TS EN ISO 9377-2, 2000 sayılı *Hidrokarbonların Tayini - Bölüm 2: Çözücü Ekstraksiyonu ve Gaz Kromatografi Yöntemi* standart testi kullanılmaktadır (Diğer yöntemler, EPA Metot 1664 ve ASTM D7678 - 11). Bu analiz yönteminde yerüstü, yeraltı ve dağıtım sularından alınan örneklerdeki hidrokarbonlar ayrılmakta ve su numunesindeki toplam petrol hidrokarbonlarının miktarı tayin edilmektedir.



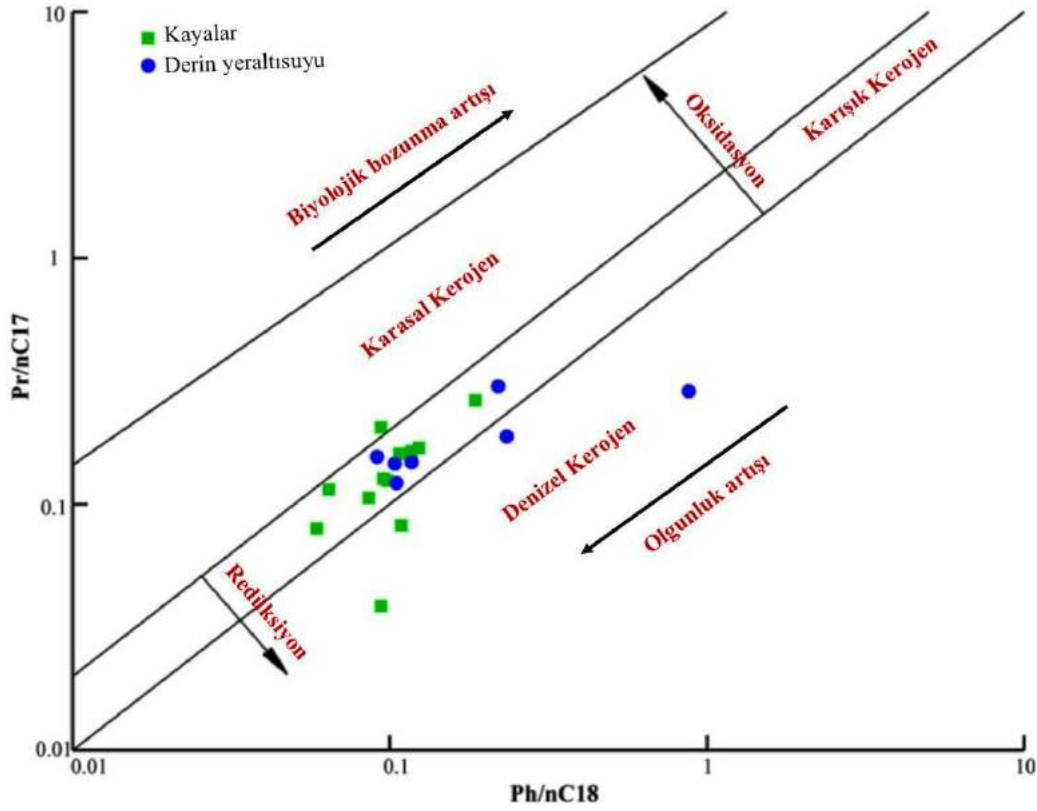
Şekil 3. Su numunesi alınan jeotermal kuyuların yerbulduru haritası



Şekil 4. Jeotermal kuyularından 1 litre ölçekli plastik şişelerle alınan su numuneleri

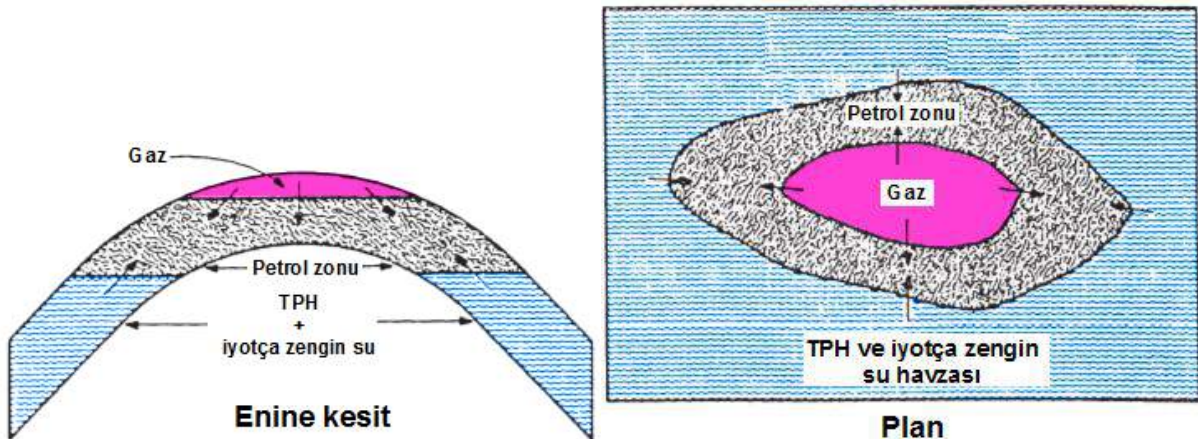
Liu ve diğ. (2018), Kuzeybatı Guizhou (Çin) Triyas akiferlerinin yeraltısuyu numunelerinde yaptıkları gaz kromatografisi (GC/MS) analizlerinde, ham petrol kökenli n-alkan hidrokarbonları tespit etmişlerdir. Hidrokarbon miktarı > 0.05 mg/L olan yeraltısularını, hidrokarbonca zengin yeraltısuyu olarak tanımlamışlardır (Çin standartlarına göre ikinci derecede içmesuyu kaynağı). Çalışma alanında 5 yıl süreyle yapılan yeraltısuyu gözlemlerinde, yeraltısularındaki petrol hidrokarbonu miktarının daima > 0.05 mg/lt olduğu belirlenmiştir. Düşük düzeydeki antropojenik kirlenmenin, bölgedeki hidrokarbonca zengin yeraltısularını üretmeyeceği belirlenmiştir. Bölgedeki kayaçların hidrokarbon potansiyelinin ve sıg yeraltısularındaki hidrokarbonların kaynağının belirlenmesi ve karşılaştırılması için organik jeokimya ve biomarker karakteristikleri kullanılmıştır. Bölgedeki kayaçlarda yapılan organik jeokimyasal değerlendirmelerde, kayaçların yüksek hidrokarbon potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Yeraltısularında tespit edilen hidrokarbonların, orijinal hidrokarbonlar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bölgedeki kayaç ve derin yeraltısularından alınan numunelerin organik jeokimyasal ve biomarker karakteristiklerinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 5). Sıg akiferlerdeki hidrokarbon miktarının, su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi ile arttığı belirlenmiştir. Sıg yeraltısularından daha ziyade, derin yeraltısularında bölgedeki kayaçlardakine benzer dağılım gösteren doymuş karbonlar bulunduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, sıg ve derin yeraltısularındaki yüksek miktardaki orijinal hidrokarbonların kaynağının, bölgedeki yüksek hidrokarbon potansiyelli kayaçlardan hidrokarbon salınımı olduğu belirtilmiştir.

Özdemir (2018a) çalışmasında, Hasanoğlan (Ankara) su numunelerinde yaptığı TPH analizlerinde, ham petrol kökenli n-alkan hidrokarbonları tespit etmiştir. Çalışmada, su numunelerindeki hidrokarbonların kökeni, uygunluk durumları, çökeltme ortamları vb. gaz kromatogramlarındaki n-alkan dağılımlarından yararlanılarak organik jeokimyasal açıdan yorumlanmıştır. Hidrokarbonlarca ve iyotça zengin suların üretim yapılabilir bir petrol sisteminin kanıtı olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, iyotça zengin suların aynı zamanda petrol hidrokarbonlarınca da zengin olduğu kanıtlanmıştır. Hidrokarbonlarca (TPH > 0.5 mg/lt) ve iyotça zengin su kaynaklarının varlığı nedeniyle, Hasanoğlan bölgesinin yüksek petrol ve doğalgaz potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.



Şekil 5. Aynı bölgeden alınan kaynak kaya ve derin yeraltısuyu numunelerinin Pr/n-C17-Ph/n-C18 diyagramı (Liu ve diğ., 2018).

Özdemir (2018b) çalışmasında, TPH analizlerinin petrol ve doğalgaz arama faaliyetlerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Yüksekova (Hakkari), Ulukışla (Niğde) ve Hasanoğlan (Ankara) bölgeleri yeraltısularında yapılan TPH analizlerine ait sonuçlar, aynı bölgedeki klasik petrol jeokimyası analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Her üç bölgede yapılan hidrojeokimyasal analiz ve değerlendirme sonuçları ile su numunelerinin alındığı bölgedeki kaynak kaya ve gaz örneklerinde yapılan organik jeokimyasal analiz sonuçları ve değerlendirmeleri birbiri ile uyumlu çıkmıştır (Li ve diğ., 2018 çalışmasında olduğu gibi). İncelenen su numunelerinin tamamının TPH değerlerinin yeraltısuları için önerilen sınır değerden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, her üç bölge sularında da ham petrol kaynaklı n-alkan hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Suda TPH değerinin, kaynak kaya tarafından türetilmiş ve rezervuar kayaya gönderilmiş olgun hidrokarbonları temsil ettiği ve TPH > 0.5 mg/lit değerine sahip ve olgun hidrokarbon içeren yeraltısularının, bulunduğu bölgedeki petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkili sular olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, rezervuar hedefli suda TPH analizlerinin petrol aramacılığında pratik ve etkili bir jeokimyasal yöntem olarak kullanılabilmesi ve bu yöntemle petrol ve doğalgaz yatakları bulduran havzaların belirlenebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Diğer jeolojik ve jeofizik yöntemler ile birlikte kullanılması durumunda da, hidrokarbon arama riskini en aza indirmek ve ticari üretim yapılabilir yeni petrol ve doğalgaz yataklarının keşfedilebilmesi için pratik ve etkili bir araç olarak kullanılabilmesi ve arama risk ve maliyetlerinin büyük ölçüde azaltılabileceğinin düşünüldüğü bildirilmiştir. Çalışmada, bir petrol ve doğalgaz rezervuarı etrafında olgun hidrokarbonlarca ve iyotça zengin bir su havzasının bulunduğu belirtilmiştir (Şekil 6). Dolayısıyla, çalışma alanında petrol ve doğalgaz yatağı (ları) varlığı durumunda, çalışma alanındaki yeraltı sularının hidrokarbonca ve iyotça zengin olması gereklidir.



Şekil 6. Birincil yöntemlerle üretim yapılan antiklinal bir petrol rezervuarının bileşenleri (Özdemir, 2018d).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sulardaki Hidrokarbonların Miktarı ve Kaynağı

Yeraltısuyu, petrol ve doğalgaz rezervuarı oluşumu için belirleyici faktördür. Diyajenetik ortam, hidrokarbonların göçünü ve ayrışmasını kontrol eder (Liu ve diğ., 2018; Li ve diğ., 2014; Feng ve Han, 2002). Su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, petrol ve doğalgaz rezervuarının mekânsal evrimi için anahtar faktördür ve tüm diyajenetik süreçte işlev görür (Liu ve diğ., 2018; Cai ve diğ., 1997). Su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, minerallerin tümü, organik madde ve formasyon suyu içeren, hem tepkiyen hem de ürün oluşum süreçlerinin bir arada bulunduğu karmaşık bir fizikokimyasal işlemdir. Bu işlemde, özel sıcaklık ve basınç koşullarında ayrışma ve çökelim arasında dinamik bir dengeye ulaşılmaktadır. Su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi için en belirgin manifesto, yeraltısuları ve formasyonlardaki fizyokimyasal özellik değişimidir. Su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, yeraltısularında hidrokarbonlarca zenginleşmeye sebep olur (Liu ve diğ., 2018). İnceleme alanındaki su numunelerinin TPH değerlerinin, Özdemir (2018b) tarafından önerilen (TPH < 0.5 mg/l) ve Liu ve diğ. (2018) tarafından önerilen (hidrokarbon içeriği < 0.05 mg/l) yeraltısularında bulunması gereken hidrokarbon sınır değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 1). Dolayısıyla, su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, inceleme alanındaki sularda hidrokarbon zenginleşmesine sebep olmuştur.

Tablo 1. Su örneklerinin analiz sonuçları

Numune No	Numune Yeri	Koordinatlar		I (mg/l)	Br (mg/l)	Cl (mg/l)	TPH (mg/l)
		X	Y				
1	Germencik / Aydın	4191312	552690	0.06	0.04	1569.05	45.86
2	Germencik / Aydın	4190846	552774	0.06	0.04	1477.58	114.76
3	Germencik / Aydın	4190097	552748	0.04	0.03	1484.62	9.65
4	Germencik / Aydın	4193898	551151	0.03	0.02	1386.11	5.97
5	Germencik / Aydın	4193561	552028	0.03	0.02	1611.27	6.02
6	Germencik / Aydın	4193499	551322	0.01	0.01	1562.01	74.23
7	Germencik / Aydın	4196436	555598	0.00*	0.01	1386.11	6.16
8	Germencik / Aydın	4196894	555879	0.03	0.02	1737.92	45.72
9	Germencik / Aydın	4193730	556606	0.05	0.04	1238.35	16.94
10	Merkez / Aydın	4188921	579273	0.11	0.08	696.57	6.66
11	Merkez / Aydın	4188729	579083	0.03	0.01	154.79	6.77
12	Merkez / Aydın	4190357	579245	0.07	0.04	443.27	8.24
13	Merkez / Aydın	4191224	578287	0.10	0.08	397.54	70.52
14	Merkez / Aydın	4190159	579267	0.02	0.01	460.87	5.44

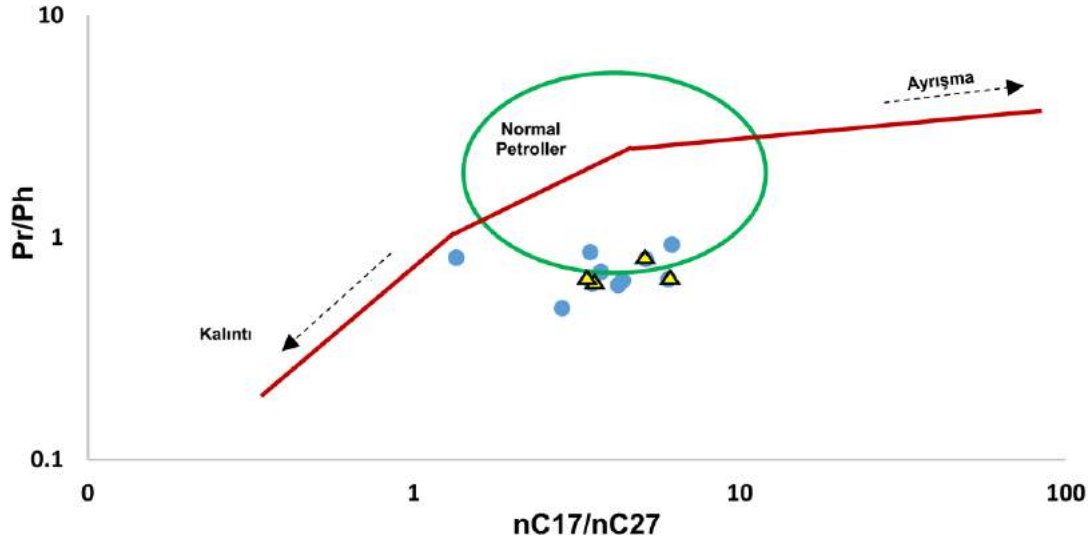
* Dedeksiyon limitinin altında.

Yapılan TPH analizlerinde, incelenen su numunelerinde n-alkan hidrokarbonlar tespit edilmiştir (Tablo 2). Su örneklerinin gaz kromatogramları ve integrasyonları, EK-1 ve EK-2'de verilmiştir. Gaz kromatogramlarından elde edilen jeokimyasal parametrelerin işaretlendiği grafiğe bakıldığında (Şekil 7), incelenen su numunelerindeki hidrokarbonların normal petrol hidrokarbonları sınıfına girdiği, herhangi bir hidrokarbon ürününden ayrışarak veya kalıntı olarak oluşmadığı görülmektedir.

Hidrokarbon bileşiklerinin genel dağılımlarını görmek, organik madde tipi, olgunlaşma ve çökeltme ortamları hakkında bilgi sağlamak amacıyla gaz kromatogramlardaki pik dağılımları ve boylarına bakılarak değerlendirme yapılır. Gaz kromatografi analiz sonuçları kullanılarak Pr (Pristan)/Ph (Fitan) oranı, izoprenoid/n-alkan oranı ve Karbon Tercih İndeksi (CPI) hesaplanarak yorumlamaya gidilmektedir. Bu çalışmada, n-alkan dağılımlarından yararlanılarak su numuneleri Pr/Ph oranı (Didyk ve diğ., 1978; Tissot ve Welte, 1984; Banga ve diğ., 2011), CPI indeksi (Bray ve Evans, 1965), Pr/Ph - CPI (Hakimi ve diğ., 2017; Onojake ve diğ., 2013), Pr/nC17 - Ph/nC18 (Peters ve diğ., 1999; Sarı ve diğ., 2003; Mathur ve diğ., 1988) ve Pr+Ph/nC17 + nC18 (Frimmel ve diğ., 2004) diyagramlarında jeokimyasal açıdan yorumlanmıştır.

CPI, n-alkan kaynağının bir göstergesidir. Tek ve çift karbon numaralı n-alkan miktarları arasındaki bir oran olan CPI, gaz kromatogramlarındaki piklerin yükseklikleri ölçülerek belirlenmektedir. Bu kromatogramlarda hâkim pikler, n-alkanlardır. CPI indeksinin hesaplanmasında, farklı araştırmacılar farklı formüller önermişlerdir. Bu indeks, karbon dizisinin herhangi bir aralığına uygulanabilmektedir. CPI indeksinin hesaplanması: $CPI = \frac{1}{2} \times \left[\frac{(C_{17} + C_{19} + C_{21} + C_{23})}{(C_{16} + C_{18} + C_{20} + C_{22})} + \frac{(C_{17} + C_{19} + C_{21} + C_{23})}{(C_{18} + C_{20} + C_{22} + C_{24})} \right] / 2$ (Bray ve Evans, 1961, 1965).

CPI, tek ve çift numaralı n-alkanların birbirlerine göre bolluğu, organik madde tipi, çökeltme ortamı ve ısıl olgunluğu yorumlamada kullanılmaktadır. CPI değerinin belirgin bir şekilde 1'den büyük (tek n-alkan tercihli) veya 1'den küçük (çift n-alkan tercihli) olması ısıl ortamlarla ilişkili petrol ve bitümlerde gözlenmektedir (Tissot ve Welte, 1984; Peters ve Moldowan, 1993). Yüksek CPI değeri, yüksek karasal bitkilerden türemiş, olgunlaşmamış veya olgunluğu düşük organik maddeyi yansıtmaktadır (Tran ve Philippe, 1993). CPI değerlerine göre (Tablo 2), su numunelerindeki n-alkanların tamamının kaynağı petrojenik hidrokarbonlardır ve denizel organizmalardan türemiş organik maddeye işaret etmektedir (Tablo 3)



Şekil 7. Pr/Ph - nC17/nC27 grafiği (Çorbacioğlu ve diğ., 2018). Mavi renkli daireler: Germencik (Aydın) numuneleri, sarı renkli üçgenler: Merkez (Aydın) numuneleri

Tablo 2. Su numunelerinin gaz kromatogramlarından hesaplanan jeokimyasal parametreler

Numune No	Numune Yeri	TPH (mg/l)	CPI	Pr/Ph	Pr/n-C17	Ph/n-C18
1	Germencik / Aydın	45.86	1.06	0.86	0.50	0.58
2	Germencik / Aydın	114.76	1.04	0.52	0.35	0.67
3	Germencik / Aydın	9.65	0.98	0.70	0.25	0.36
4	Germencik / Aydın	5.97	1.08	0.64	0.34	0.52
5	Germencik / Aydın	6.02	0.98	0.61	0.33	0.54
6	Germencik / Aydın	74.23	1.07	0.73	0.40	0.55
7	Germencik / Aydın	6.16	0.91	0.93	0.40	0.43
8	Germencik / Aydın	45.72	0.89	0.48	0.33	0.69
9	Germencik / Aydın	16.94	0.99	0.81	0.25	0.31
10	Merkez / Aydın	6.66	0.92	0.80	0.34	0.42
11	Merkez / Aydın	6.77	0.92	0.66	0.33	0.50
12	Merkez / Aydın	8.24	0.98	0.72	0.34	0.47
13	Merkez / Aydın	70.52	0.92	0.62	0.33	0.54
14	Merkez / Aydın	5.44	0.94	0.65	0.33	0.52
Alaşehir-1 kuyusu petrolü*	Manisa	-	-	0.76	0.81	0.96

* Veri: Gürgey ve diğ. (2007)

Tablo 3. CPI değerine göre sudaki n-alkanların kaynağı (Özdemir, 2018b)

CPI	Kaynak
> 2.3	Güncel karasal sedimanlar (biyojenik hidrokarbonlar)
1.2 - 2.3	Yaşlı organik maddece zengin sedimanlar (denizel şeyller, kireçtaşları vb.)
≤ 1.2	Petrojenik hidrokarbonlar (< 1 değerler bozunmuş petroler)

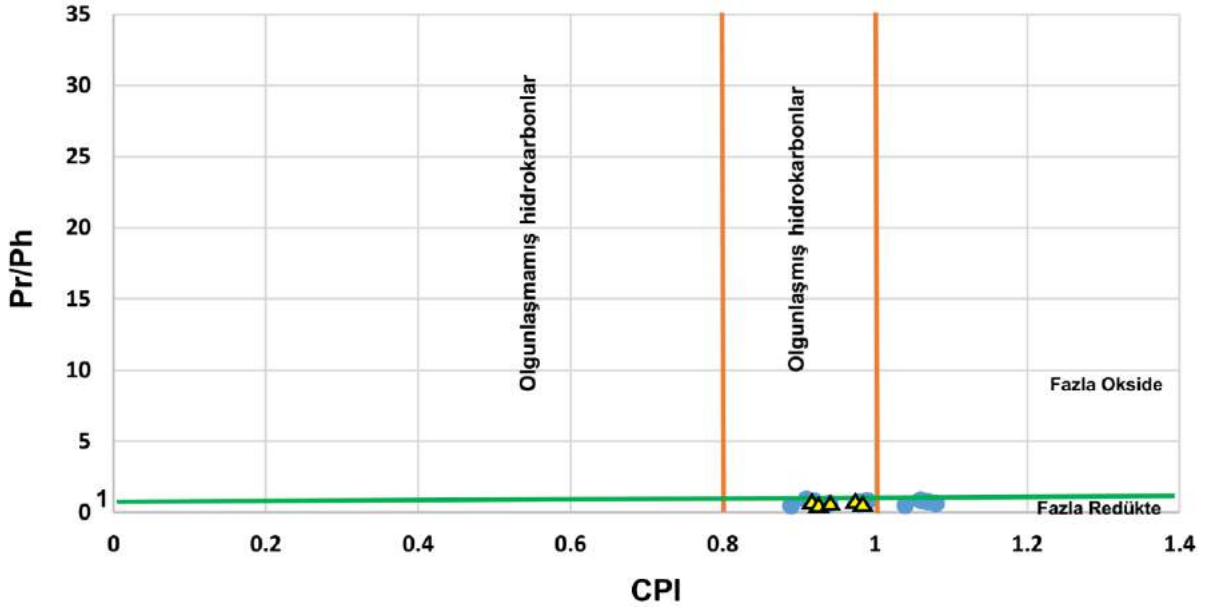
3.2. Sulardaki Hidrokarbonların Olgunluğu ve Çökeltme Ortamının Redoks Koşulları

Olgun hidrokarbonların CPI değeri, 1'dir veya 1'e yakındır (Waples, 1985). Çok tuzlu karbonat veya evaporitik ortamlarla ilişkili petrol ve bitümlerin CPI değerleri, 1'den küçüktür (Tissot ve Welte, 1984; Peters ve Moldowan, 1993). Onojake ve diğ. (2013) çalışmalarında, CPI değerlerini esas alarak petroleri olgunluklarına göre sınıflandırmışlardır (Tablo 4). Bu sınıflamaya göre, su numunelerindeki (Tablo 2) hidrokarbonların tamamı olgundur.

Tablo 4. CPI değerine göre petrolerin olgunluk derecesi (Onojake ve diğ., 2013'den düzenlenmiştir) (bkz. Şekil 5)

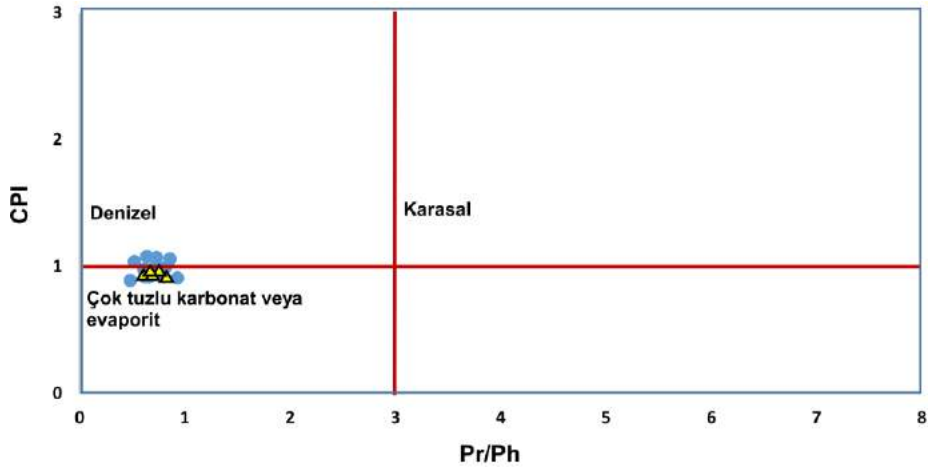
CPI	Olgunluk
1 - 1.4	Olgun (okside-redükte)
0.8 - 1	Olgun
< 0.8	Olgunlaşmamış

İzoprenoid/n-alkan oranlarında, gaz kromatogramlarındaki izoprenoidlere en yakın n-alkanlar kullanılmaktadır. Pr/Ph oranı, iyi bir korelasyon parametresidir. Pristan (Pr) ve fitan (Ph), özellikle fototropik organizmalardaki klorofilin yan zinciri olan fitilden türemektedir. Anoksik koşullar altında fitil yan zinciri koparak fitolü ve fitolde indirgenerek fitanı oluştururken, oksik koşullar altında ise fitol pristana indirgenmektedir (Peters ve Moldowan, 1993). Dolayısıyla, Pr/Ph oranı çökeltme ortamının redoks potansiyelini yansıtmaktadır. Pr/Ph < 1 ise anoksik, Pr/Ph > 1 ise oksik çökeltme ortamlarını işaret etmektedir (Didyk ve diğ., 1978). İncelenen su numunelerinin tamamı, anoksik ortamda çökelmiş sedimanlardan türemiş hidrokarbonları içermektedir (Tablo 2). Pr/Ph oranı, ayrıca paleoortam ve olgunluk hakkında da bilgi sağlamaktadır (Volkman ve Maxwell, 1986). Pr/Ph-CPI diyagramında, incelenen su numunelerindeki hidrokarbonların çoğunlukla olgunlaşmış olduğu bir kısmının da fazla redükte alanda yer aldığı ve benzer olgunluk seviyelerinde olduğu görülmektedir (Şekil 8).

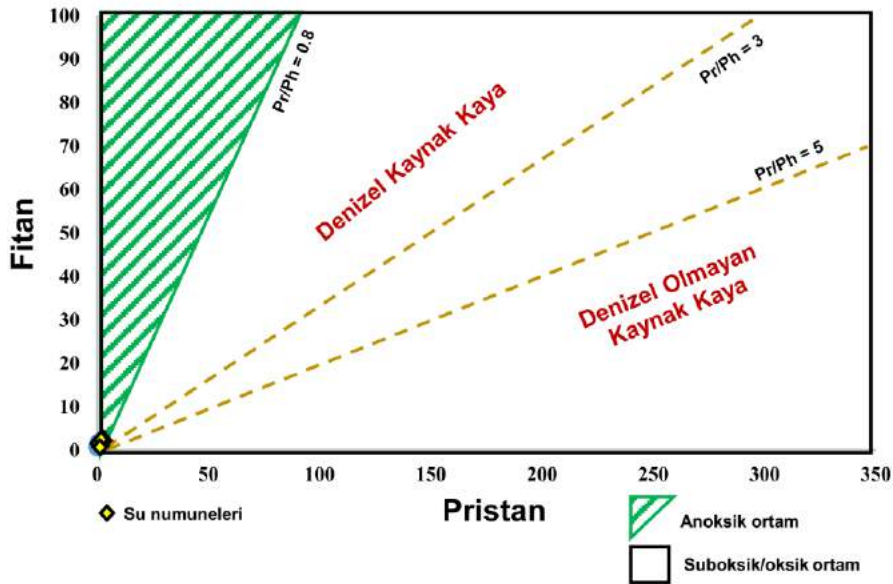


Şekil 8. Pr/Ph - CPI diyagramı (Onojake ve diğ., 2013). Mavi renkli daireler: Germencik (Aydın) numuneleri, sarı renkli üçgenler: Merkez (Aydın) numuneleri

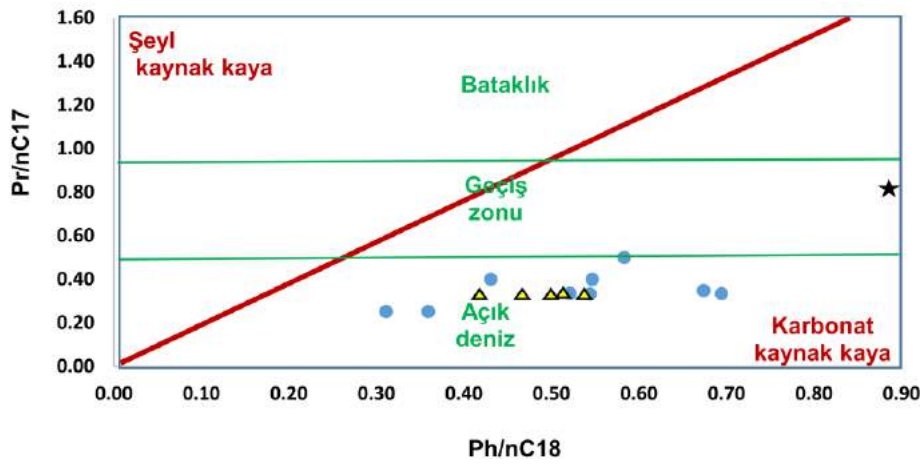
Pr/n-C17 ve Ph/n-C18 oranları, petrol korelasyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek pristan (Pr) içeren numuneler oksitleyici, yüksek fitan (Ph) içeriği ise redükleyici bir kaynağı yansıtmaktadır. Dolayısıyla, petrol veya bitümleri sınıflandırmak için Pr/nC17'nin Ph/nC18'e karşı çizildiği diyagramlar kullanılmaktadır (Hunt, 1995). Pr/Ph oranının 1.5 üzerinde olması, standart jeokimyasal yorumlamaya göre oksijenli bir ortamdaki çökeltme koşullarına işaret etmekle birlikte, Pr/Ph oranlarının anoksik çökeltme ortamları için 1'in üzerinde olabileceği de iyi bilinmektedir. Daha düşük değerler, aynı sekansın diğer bölümlerine kıyasla daha az oksik koşulları gösterebilir (Hartkopf-Fröder ve diğ., 2007). İzoprenoid/n-alkan oranı, kırılma ile kerojenden daha çok n-alkan serbest kaldığı için olgunluğun artması ile azalmakta olup (Tissot ve Welte, 1984; Hunt, 1995) biyolojik bozunmaya uğramamış petrol ve bitüm örnekleri için olgunluğun bir ölçütü olarak kullanılmaktadır. Bu oran, n-alkanların daha kolay yok olmasından dolayı biyolojik bozunma ile artmakta (Hunt, 1995), organik madde girdisi ve ikincil işlevler tarafından da etkilenmektedir. Ayrıca, Pr/nC17-Ph/nC18 diyagramı kullanılarak petrolerin türemiş oldukları kaynak kayanın litolojisi ve çökeltme ortamı da belirlenmektedir. İncelenen su numunelerindeki hidrokarbonları türeten kaynak kayalar, anoksik denizel bir ortamda çökelmiş karbonat tipi kayalardır (Şekil 9, 10 ve 11). Grabende, Alt-Üst Miyosen'de gölsel bir ortam vardır (Gürer ve diğ., 2009). Dolayısıyla, grabendeki petrol kaynak kayası oluşumu bu göl ortamı öncesine (Miyosen öncesine) aittir. Çalışma alanındaki hidrokarbonların bir kısmı, çok tuzlu karbonat veya evaporitik ortamlarla ilişkili hidrokarbonlardır (Şekil 9). Pr/Ph ve (Pr + Ph)/(nC17 + nC18) diyagramı da (Şekil 12), oksiklik veya anoksiklik artışı hakkında bilgi sağlamaktadır (Hartkopf-Fröder ve diğ., 2007).



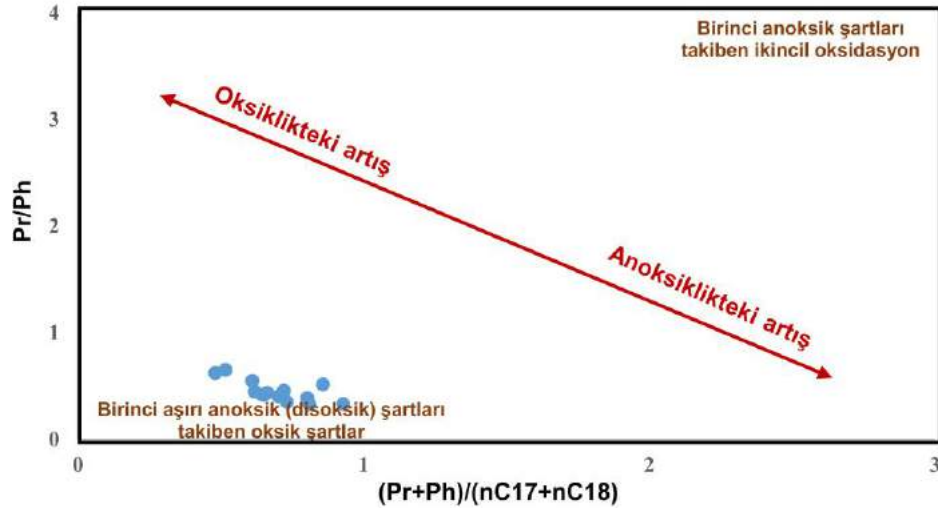
Şekil 9. Su numunelerinin Pr/Ph - CPI diyagramı (Hakimi ve diğ., 2017). Mavi renkli daireler: Germencik (Aydın) numuneleri, sarı renkli üçgenler: Merkez (Aydın) numuneleri



Şekil 10. İncelenen su numunelerinin Fitan (Ph)/Pristan (Pr) diyagramı (Banga ve diğ., 2011)

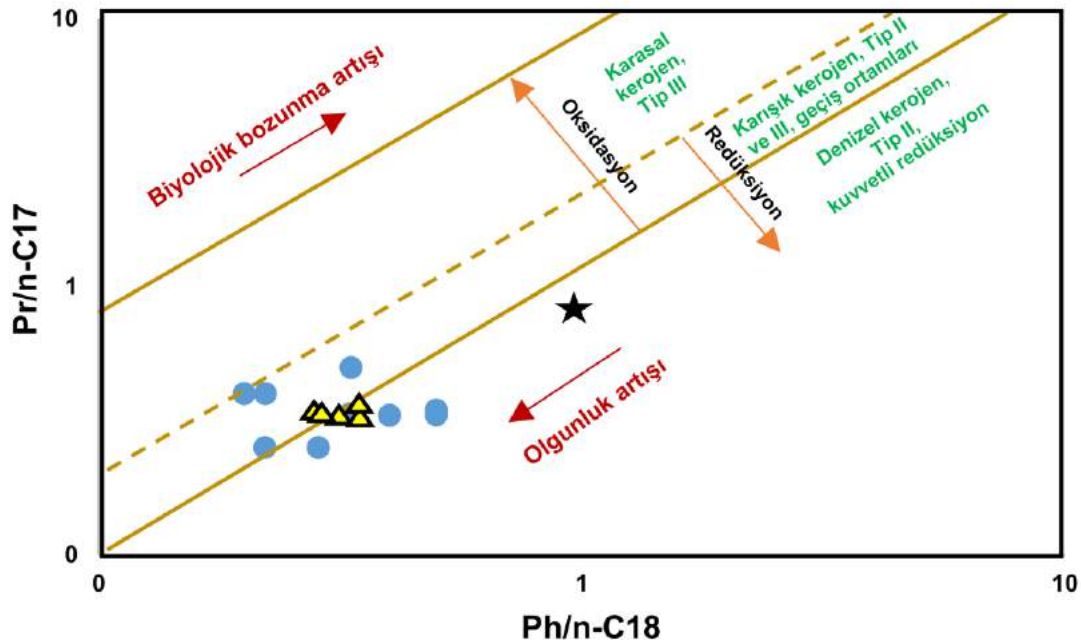


Şekil 11. İncelenen su numunelerindeki hidrokarbonları türeten kaynak kayanın litolojisi ve çökelme ortamı (Sarı ve diğ., 2003; Mathur ve diğ., 1988). Mavi renkli daireler: Germencik (Aydın) su numuneleri, sarı renkli üçgenler: Merkez (Aydın) su numuneleri, siyah renkli yıldız: Alaşehir-1 kuyusu petrolü



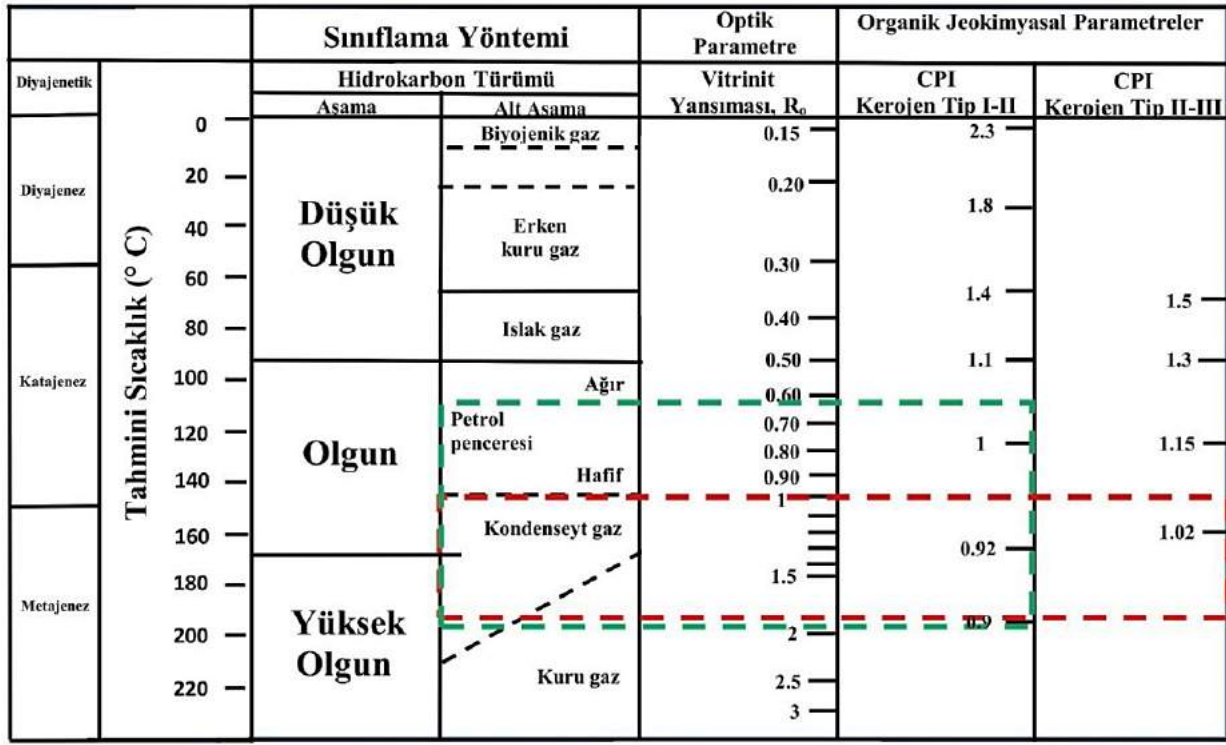
Şekil 12. Su numunelerinin $(Pr+Ph)/(nC17 + nC18)$ diyagramı (Frimmel ve diğ., 2004). Su numuneleri, diyagramda mavi renkli daireler ile gösterilmiştir.

İncelenen su numunelerinin $Pr/nC17 - Ph/nC18$ diyagramındaki konumlarına göre, hidrokarbonları türeten kaynak kayanın denizel kuvvetli redüksiyon (Tip II kerojen) ve geçiş ortamında çökelindiği (Tip II-III kerojen) ve hidrokarbonların olgun seviyede oldukları görülmektedir (Şekil 13). Numunelerin diyagramlar üzerinde aynı alanda ve birbirine yakın olarak yer alması kökensel olarak ilişkili olduğunu, başka bir deyişle aynı kaynak kayadan türediklerinin bir göstergesidir.



Şekil 13. İncelenen su numunelerinin $Pr/n-C17-Ph/n-C18$ diyagramı (Peters ve diğ., 1999). Mavi renkli daireler: Germencik (Aydın) su numuneleri, sarı renkli üçgenler: Merkez (Aydın) su numuneleri, siyah renkli yıldız: Alaşehir-1 kuyusu petrolü

Organik jeokimyasal analizler, hem optik hem de kimyasal yöntemleri içerir (Tissot ve Welte, 1984). Bir analitik yöntem, kesin sonuç elde etmek için yeterli olmayabilir. Genellikle, en güvenilir 2 veya 3 yöntem birlikte kullanılır. Bu yöntemlerden elde edilen veriler [1: organik maddenin petrol veya gaz zenginliğinin miktarı, 2: organik maddenin petrol veya gaz eğilimi ve 3: olgunluk seviyesi (düşük olgun, olgunlaşmış veya yüksek olgun-metamorfize)], birbirleri ile ilişkilendirilir (Hunt, 1995). Termal olgunlaşma belirteçlerinin ilişkilendirilmesi Şekil 14'de, incelenen su numunelerindeki hidrokarbonları türeten organik madde (kerojen) tipi, hidrokarbonların termal olgunluk durumları ve hidrokarbon türü de Tablo 5'te verilmiştir. Bu değerlendirmeye göre, inceleme alanındaki hidrokarbonlar olgun ve yüksek olgun (metamorfize) olup, diyajenetik olarak metajenez - katajenez aşamasındaki hafif petrol, kondenseyit ve kuru gazdır.



Şekil 14. Termal olgunlaşma belirteçlerinin, vitrinit yansıma (R₀) ve Karbon Tercih İndeksi (CPI) değerlerinin ilişkilendirilmesi (Thompson, 1982; Heroux ve diğ., 1979). Yeşil renkli çizgili alan: incelenen su numunelerindeki Tip II kerojenden türeyen hidrokarbonlar; kırmızı renkli çizgili alan: incelenen su numunelerindeki Tip II-III kerojenden türeyen hidrokarbonlar (bkz. Tablo 5)

Tablo 5. İncelenen su numunelerindeki hidrokarbonları türeten kerojen tipi, hidrokarbonların termal olgunluk durumları, hidrokarbonların tipi ve diyajenetik aşaması (bkz. Şekil 14)

Numune No	CPI	Kerojen Tipi	Olgunluk Durumu	Hidrokarbon Tipi	Diyajenetik aşama
1	1.06	II-III	Olgun	Hafif petrol - kondenseyt gaz	Katajenez
2	1.04	II	Olgun	Hafif petrol	Katajenez
3	0.98	II	Olgun	Hafif petrol	Katajenez
4	1.08	II	Olgun	Ağır petrol	Katajenez
5	0.98	II	Olgun	Hafif petrol	Katajenez
6	1.07	II-III	Olgun	Hafif petrol - kondenseyt gaz	Katajenez
7	0.91	II-III	Yüksek olgun/metamorfize	Kuru gaz	Metajenez
8	0.89	II	Yüksek olgun/metamorfize	Kuru gaz	Metajenez
9	0.99	II	Olgun	Hafif petrol	Katajenez
10	0.92	II	Yüksek olgun/metamorfize	Kondenseyt gaz - kuru gaz	Metajenez
11	0.92	II	Yüksek olgun/metamorfize	Kondenseyt gaz - kuru gaz	Metajenez
12	0.98	II	Olgun	Hafif petrol	Katajenez
13	0.92	II	Yüksek olgun/metamorfize	Kondenseyt gaz - kuru gaz	Metajenez
14	0.94	II-III	Yüksek olgun/metamorfize	Kuru gaz	Metajenez

3.3. Sulardaki İyotun Kaynağı

Tip-II denizel kerojenin bozuşması, formasyon sularında bulunan iyotun ana kaynağıdır (Engle ve diğ., 2016; Worden, 1996). Formasyon suları, hidrokarbon kaynak kaya (kerojen) türüne göre; Tip-II (algsi-denizel, petrol eğilimli) veya Tip-III (Karasal-bitki baskın, gaz eğilimli) olarak alt bölümlere ayrılmıştır (Worden, 1996). İyotça zengin sular, kerojen içeren sedimanlardan hidrokarbonlarla birlikte türemiş paleo deniz gözenek sularıdır. Bir diğer deyişle, iyotça zengin sular kaynak kayadan olgun hidrokarbonlar ile birlikte rezervuar kayaya göçmüş sularıdır (Özdemir, 2018d,e). Özdemir (2018d), çalışmada iyotça zengin yüzey ve yeraltısularının oluşum mekanizmalarını ve 5 farklı petrolü havzadaki iyotça zengin soğuksu ve sıcak yeraltısuları ile üretim yapılan petrol ve doğalgaz yatakları arasındaki ilişki detaylı olarak incelenmiştir.

Deniz suyunda 0.06 mg/lit iyot bulunur. İyot, başlıca denizel organik maddelerde zenginleşir ve denizel sedimanlarda birikir. Denizel kökenli organik maddece zengin sedimanter kayalar ve kaya tuzu (halit), karasal ortamdaki iyotun başlıca doğal kaynaklarıdır (Worden, 1996). Bu kaynaklar, I/Br oranı ile birbirinden ayrılmaktadır. Potansiyel olarak iyot, denizel veya karasal

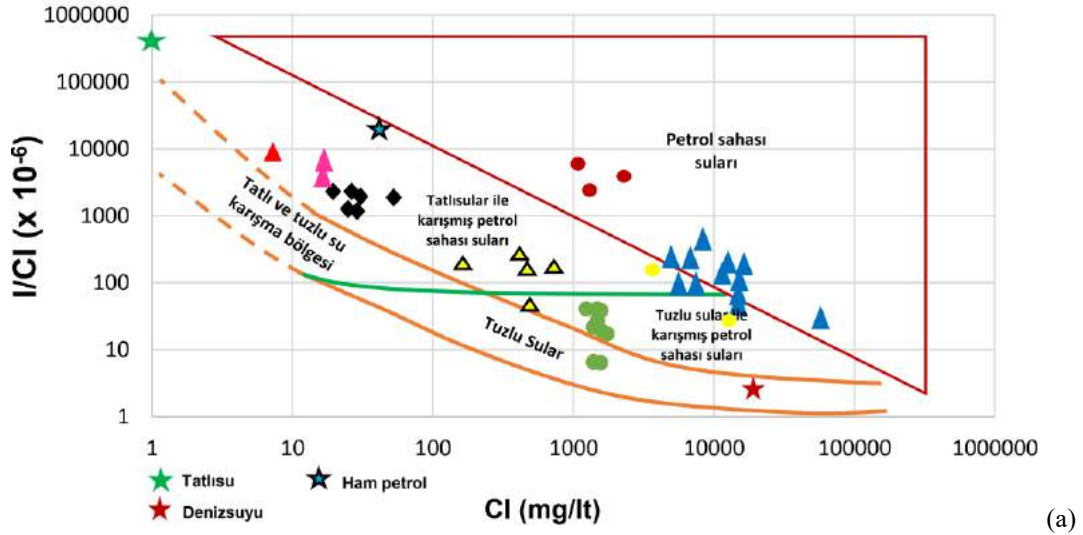
ortamdan bağımsız olarak organik maddece zengin kayalar ile ilişkilidir ve sedimanter havza salamuraları için iyi bir izleyici olarak kullanılmaktadır. Deniz ve karadan türemiş organik maddelerin Br/I oranları aynı değildir. Bu nedenle, organik maddece zengin ortamlardaki denizel kaynak kayalar ile karasal kaynak kayaları ayırt etmek için Br/I oranları kullanılır (Fuge ve Johnson, 1986). Organik maddenin bozuluşu sırasında salınan brom ve iyot, akışkanın kökenini belirlemek için kullanılır. İyot miktarı, denizel ortamda daha yüksektir. Karasal ortamlarda ise, daha düşüktür. Karasal bir ortam, daha yüksek Br/I oranlarına sahip iken, denizel organik maddece zengin bir ortam yüksek iyot içeriği ve düşük Br/I oranları sergileyecektir (Hummel, 2011; Worden, 1996). Bu oran, 0.5 - 2.5 değer aralığındadır (Kendrick ve diğ., 2011). Organik maddece zengin kaynak kayaların Br/I oranlarına göre farklı jeolojik ortamları temsil ettiği gözlenmiştir (Hummel, 2011). Sedimanter havzalarda, organik madde ile etkileşen bazı akışkanların da Br/I oranlarının yükselmesi olasıdır. Örneğin, Brezilya kömürünün Br/I oranı 4'tür (Flores ve diğ., 2008) ve turba bataklığının Br/I oranları 11 ± 4 'tür (Biester ve diğ., 2004). Çalışma alanındaki su numunelerinin Br/I oranı = 0.33 - 1.11 olarak tespit edilmiştir (Tablo 6). Dolayısıyla, incelenen su numunelerinin tamamı denizel organik maddece zengin bir ortamı temsil etmektedir. Bu veri, jeokimyasal değerlendirmeler ile uyumludur (Şekil 11, 12, 13 ve 15).

Tablo 6. İncelenen su numunelerinin Br/I oranı

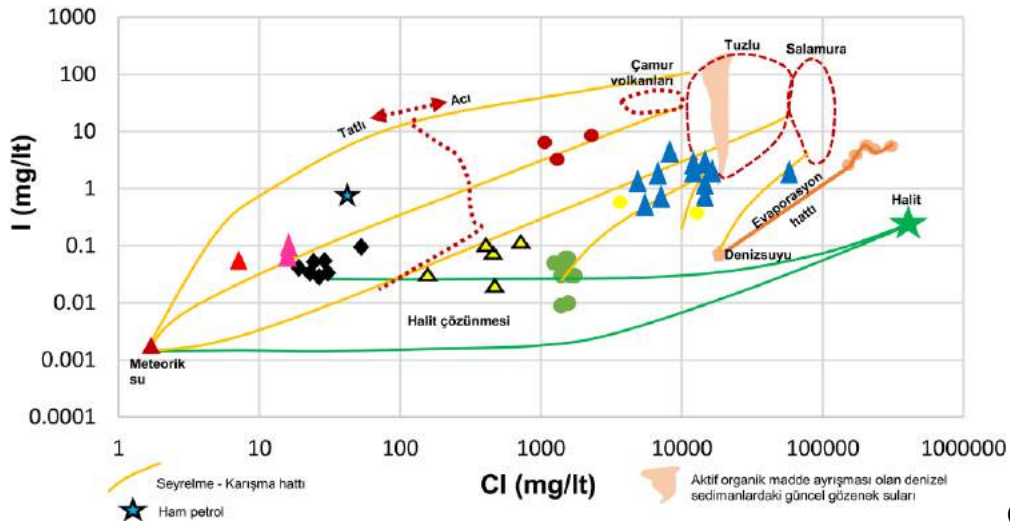
Numune No	Br (mg/l)	I (mg/l)	Br/I
1	0.04	0.06	0.67
2	0.04	0.06	0.67
3	0.03	0.04	0.75
4	0.02	0.03	0.67
5	0.02	0.03	0.67
6	0.01	0.01	1.00
7	0.01	0.009	1.11
8	0.02	0.03	0.67
9	0.04	0.05	0.80
10	0.08	0.11	0.73
11	0.01	0.03	0.33
12	0.04	0.07	0.57
13	0.08	0.10	0.80
14	0.01	0.02	0.50

> 1 mg/l iyot içeren sular, üretim yapılan petrol ve doğalgaz havzalarının/sahalarının rezervuar sularıdır (Özdemir, 2018c,d,f). Özdemir (2018c), < 1 mg/l iyot içeren suların üretim yapılabilir hidrokarbon yatakları ile ilişkili sular olup olmadıklarını belirlemenin en iyi yönteminin I/Cl - Cl oranının kullanılması olduğu belirtilerek bu ayırım için bir " Petrol ve Doğalgaz Sahası Suyu Ayırma Grafiği" önermiştir (Şekil 16). Bu grafiğe göre, çalışma alanındaki su numunelerinin çoğunluğu, meteorik ve tuzlu sularla karışmış, bir kısmı da tuzlu petrol ve doğalgaz sahası sularıdır (Şekil 13). İncelenen tüm su numunelerinin olgun petrol hidrokarbonları içermesi bu kanıyı desteklemektedir.

İyot, sedimenter kayalarda düşük konsantrasyonlarda (örneğin karbonatlarda < 1 ppm, denizel evaporitlerde < 0.1 ppm) bulunur. Şeyller, genellikle 1-20 ppm gibi yüksek iyot konsantrasyonlarına sahiptir. Karbonatlar, bol halojen içermezler (Cosgrove, 1970; Collins ve diğ., 1971; Worden, 1996). İncelenen su numunelerindeki iyot oranlarının düşük olmasının nedeni, hem sulardaki hidrokarbonları türeten kaynak kayaların karbonatlar olması (Şekil 9) hem de suların meteorik ve tuzlu sularla karışmış ve seyrelmiş olmalarıdır (Şekil 16). Özdemir (2018a,b) çalışmalarında, olgun petrol hidrokarbonlarınca zengin suların aynı zamanda düşük iyot içeriklerine de sahip olabildiği görülmektedir. İncelenen su numunelerinin tuzlu su özelliği göstermesi nedeniyle (Tablo 7), Ege denizinin tuzlu suları ile graben suları arasında yüksek oranda bir karışım söz konusudur. Şimşek (2003) tarafından Büyük Menderes grabeni boyunca yer alan jeotermal sahalarda yapılan hidrojeokimyasal ve izotopik çalışmada da, grabenin batı kısmındaki jeotermal kaynaklarda, tatlı su ve deniz suyu karışımının yüksek oranda olduğu belirtilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 16. İncelenen hidrokarbonlarca zengin suların (a) I/CI-Cl (Özdemir, 2018c) oranı ve (b) I/Cl oranı (Boschetti ve diğ., 2011) grafikleri. Yeşil renkli daireler: Germencik (Aydın) su numuneleri (Tablo 1), sarı renkli üçgenler: Merkez (Aydın) su numuneleri (Tablo 1). Mavi renkli üçgenler: Güneydoğu Anadolu havzası petrol sahaları suları, sarı renkli daireler: Trakya havzası petrol sahaları suları, kırmızı renkli daireler: Ulukışla (Niğde) iyotça ve hidrokarbonlarca zengin suları, pembe renkli üçgenler: Yüksekova (Hakkari) iyotça ve hidrokarbonlarca zengin suları, siyah renkli baklava dilimi üçgenler: Hasanoğlan (Ankara) iyotça ve hidrokarbonlarca zengin suları, kırmızı renkli üçgen: Aydıntepe (Bayburt) iyotça ve hidrokarbonlarca zengin suyu (Özdemir, 2018d). Ham petrol iyot ve klor verisi: (Hitchon ve Filby, 1983)

Tablo 7. İncelenen hidrokarbonlarca ve iyotça zengin sularının tipleri ve hidrokarbonlarla ilişkileri

Numune No	TPH (mg/lt)	I (mg/lt)	Cl (mg/lt)	Su Tipi (Şekil 16.b'den)	Hidrokarbonlarla İlişki*** (Şekil 16a'dan)
1	45.86	0.06	1569.05	Tuzlu su	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
2	114.76	0.06	1477.58	Tuzlu su	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
3	9.65	0.04	1484.62	Tuzlu su	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
4	5.97	0.03	1386.11	Tuzlu su	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
5	6.02	0.03	1611.27	Tuzlu su	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
6	74.23	0.01	1562.01	Tuzlu su	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
7	6.16	0.00	1386.11	Tuzlu su	Tuzlu su
8	45.72	0.03	1737.92	Tuzlu su	Tuzlu su
9	16.94	0.05	1238.35	Tuzlu su	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
10	6.66	0.11	696.57	Tuzlu su	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
11	6.77	0.03	154.79	Tuzlu su	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
12	8.24	0.07	443.27	Tuzlu su	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
13	70.52	0.10	397.54	Tuzlu su	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
14	5.44	0.02	460.87	Tuzlu su	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu

3.4. İnceleme Alanının Havadan Manyetik ve Gravite Haritalarının Jeolojik Yorumu ve Derinlik Hesapları

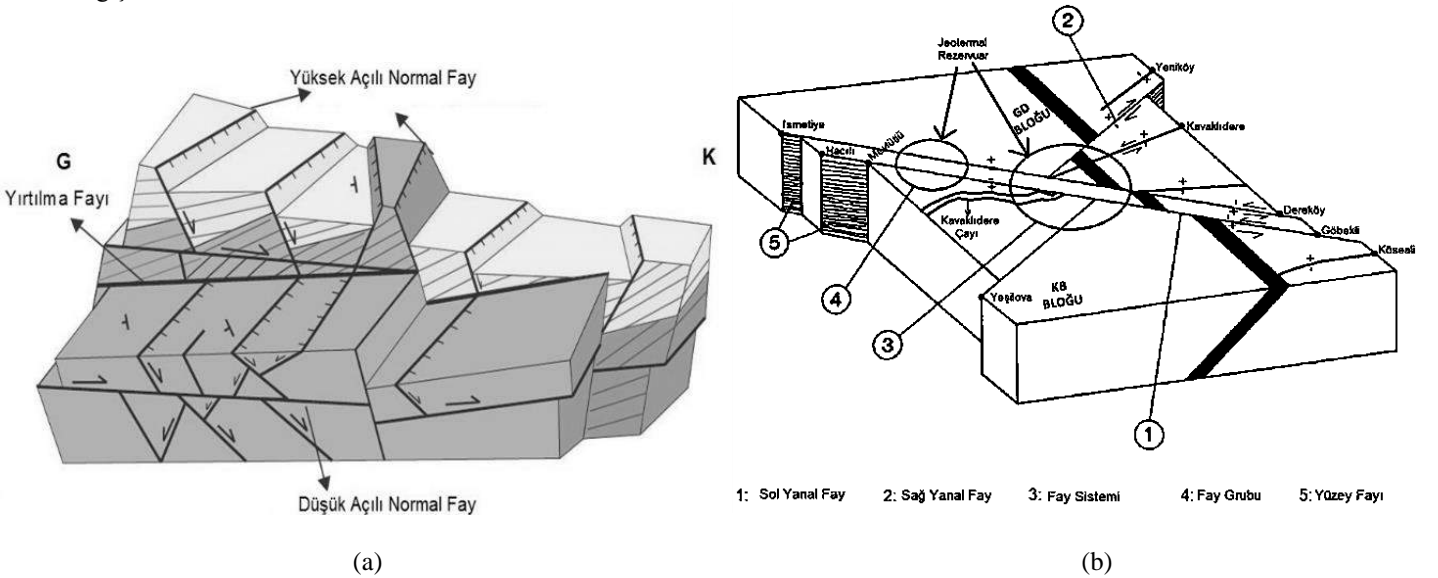
İnceleme alanında olduğu gibi, organik hidrojeokimyasal araştırmalarla petrol hidrokarbonları varlığı kanıtlanmış (olgun hidrokarbonlarca zengin sular belirlenmiş) olan bölgelerdeki petrol ve doğalgaz rezervuarının (larının) (kapanın-ların) yerlerinin belirlenmesi için özellikle sismik ölçümler çok önemlidir. Ancak, Büyük Menderes grabeninin batı kısmını oluşturan çalışma alanında, değerlendirmeye esas olabilecek sismik hatlar bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışma alanının yeraltı jeolojisi MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilmiş olan gravite ve manyetik verilerden hazırlanan haritalar kullanılarak değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Gravite ve manyetik verilerinin petrol ve doğalgaz aramalarında kullanımına yönelik yöntemleri ve saha uygulamalarını içeren çok sayıda çalışma mevcuttur (bazı çalışmalar; Özdemir, 2018a; Gadirov ve diğ., 2018; Stephen ve Iduma, 2018; Satyana, 2015; Ivakhnenko ve diğ., 2015; Gadirov ve Eppelbaum, 2012; Aydın, 1997, 2004; Paşteka, 2000; Piskarev ve Tchernyshev, 1997; Gadirov, 1994; Lyatsky ve diğ., 1992; Geist ve diğ., 1987; Nettleton, 1976; Griffin, 1949). Gravite ve manyetik anomali analizi, Batı Sibirya'da hidrokarbon arama ve keşfinin yarım yüzyıldan bugüne kalıcı bir bileşeni olmuştur. Kuzey Batı Sibirya'nın petrol ve doğalgaz yatakları çoğunlukla, derin riftojenik yapılardan kaynaklanan pozitif bölgesel gravite ve manyetik anomalilerin yamaçlarında yer almaktadır. Bilinen tüm petrol ve doğalgaz yatakları, nispeten yüksek gravite anomalileri ile karakterize olan bölgelerdedir. Hem gravite hem de manyetik anomalinin pozitif (yüksek gravite ve manyetik) olduğu bir alan riftojenik bir yapıya işaret eder. Bu pozitif anomalinin, bazik-ultrabazik kayalardan kaynaklandığı kabul edilmektedir. Petrol ve doğalgaz sahaları, bu pozitif anomalinin kenarında veya yakın çevresinde bulunurlar. Aynı zamanda, temel kayaların yoğunluğu ve manyetizmasındaki düşüşler nedeniyle oluşan gravite ve manyetik değerlerin birlikte düşük olduğu alanlarda da petrol ve doğalgaz yataklarına rastlanılmıştır. İkincil alterasyon etkisine maruz kalmış temel kayaların gravite ve manyetik değerlerinin normal değerlerinden daha düşük olduğu da sıkça karşılaşılan bir durumdur. Yoğunluğu ve manyetik özellikleri düşük temel üzerindeki petrol ve doğalgaz sahaları, başlıca negatif gravite ve manyetik anomali konturları içerisinde, yani düşük graviteli ve manyetizmalı alanlarda bulunurlar. Bu durumda oluşan negatif anomaliler, epijenetik süreçlerin petrol ve doğalgaz yataklarının oluşumunda önemli bir rol oynadığı görüşü ile de uyumludur (Piskarev ve Tchernyshev, 1997).

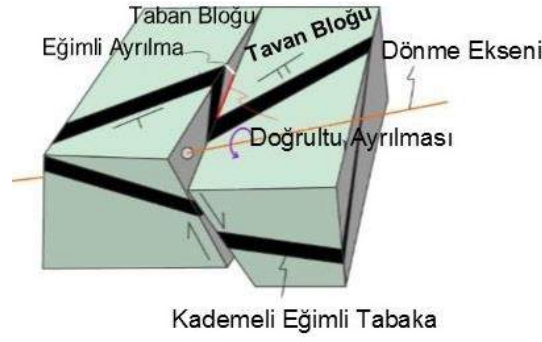
3.4.1. Havadan manyetik haritanın jeolojik yorumu

Büyük Menderes ve Gediz gibi yarı graben havzalarında, normal doğrultu atımlı faylar yerine çok sayıda yırtılma fayının (verev atımlı enine fay) bulunduğu (Şekil 17) ve bu yırtılma faylarının (transfer fayı) yarı graben havzasını farklı yapısal bloklara ayırdığı pek çok çalışmada belirtilmiştir (bazı çalışmalar; Singleton, 2011; Öner ve Dilek, 2013, Özdemir ve diğ., 2017; Özdemir ve Şahinoğlu, 2018). Öner ve Dilek (2013) tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi, verrev atımlı bu yırtılma fayları, fay düzlemine dik yarı yatay eksende saat yönünde dönüşe ve ötelenmeye yol açmaktadır (Şekil 18). Bu fayların, yatay mesafe ile atım yönü ve büyüklüğü de hızla değişebilmektedir (Öner ve Dilek, 2013).

Hazırlanan manyetik haritada inceleme alanının yapısal mimarisini, havzaya paralel D-B yönelimli kenar faylarına (Şekil 2), dolayısıyla havzaya neredeyse dik (GGB-KKD yönelimli), olasılıkla verrev atımlı iki büyük yırtılma fay sisteminin oluşturduğu görülmektedir. Bu yırtılma fayları arasında kalan alanda, bu yırtılma faylarının hareketleri sonucunda parçalara ayrılmış bir makaslama zonu gelişmiş olmalıdır. Çünkü, manyetik haritada kuzey ve güney yönelimli bu yırtılma fayları çevresinde keskin anomali değişimleri gözlenmektedir. Havzadaki sedimanter birimlerin stratigrafik kalınlıklarında da, bu yırtılma fayları çevresinde önemli değişiklikler olması beklenebilecek bir durumdur.

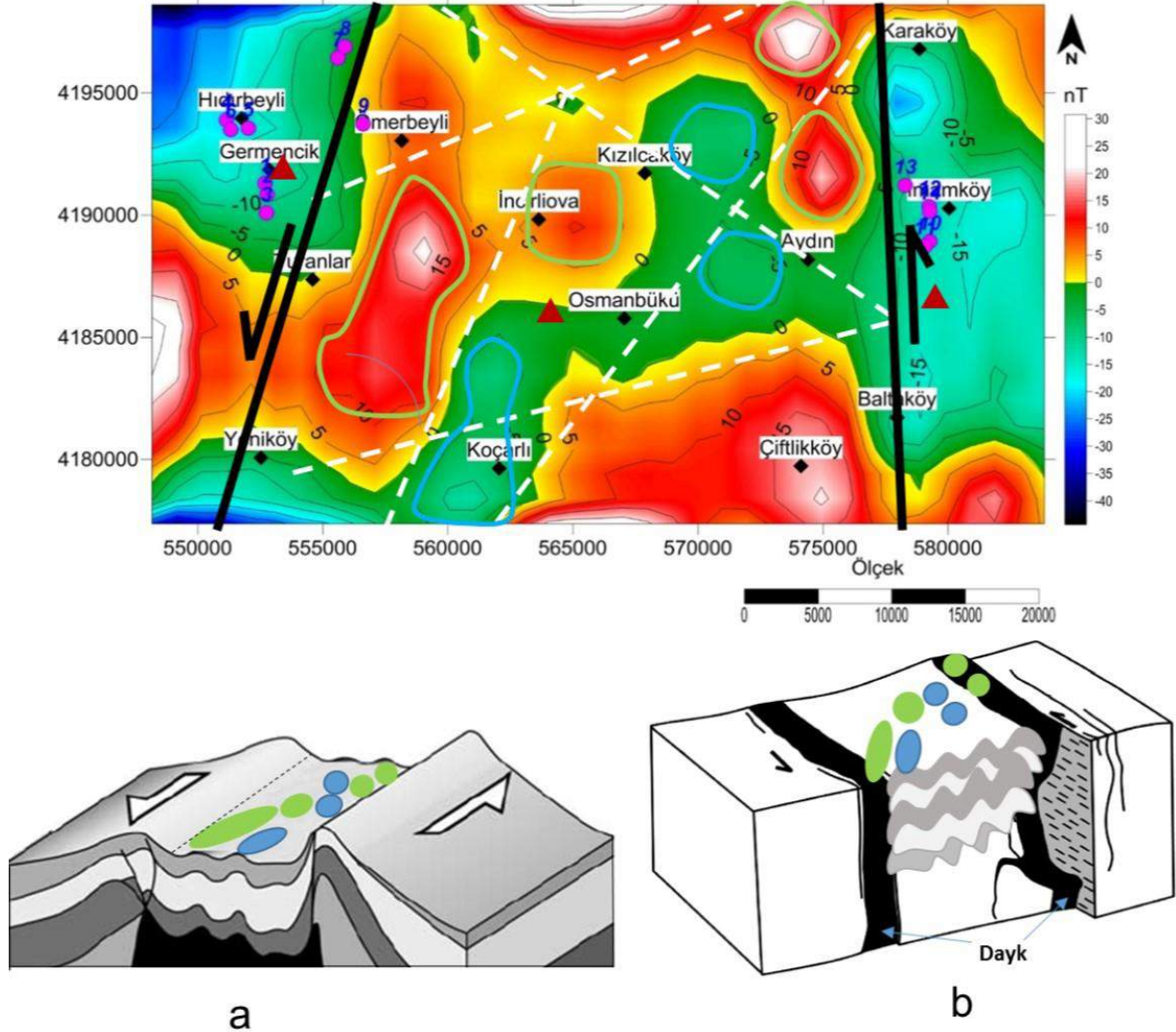


Şekil 17. Yarı graben havzalarında enine graben ve enine horstu ayıran enine fayları (yırtılma fayları) gösteren blok diyagramlar. (a) Öner ve Dilek (2013), (b) Özdemir ve diğ. (2017)



Şekil 18. Rotasyonel yırtılma faylanması, fay düzlemine dik yarı yatay eksende (turuncu renkli çizgi) saat yönünde dönüş ve ötelenmeye yol açar (Öner ve Dilek, 2013'den alınmıştır).

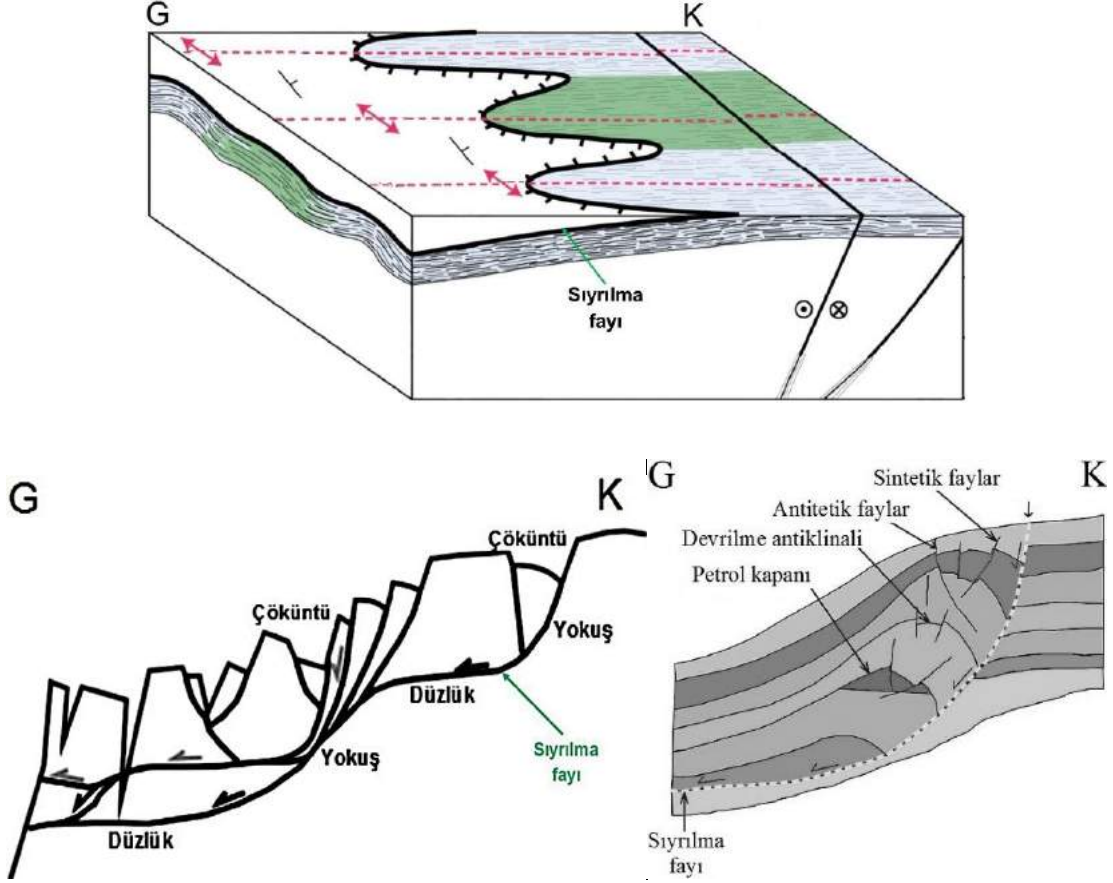
İnceleme alanı için hazırlanan havadan manyetik haritada, mavi, yeşil ve açık sarı renkli alanlarda manyetik özelliği olmayan tamamen sedimanter (kumtaşı, kireçtaşı, silttaşı, çamurtaşı, kiltası, çakıltası, şeyl vb.) ve metamorfik (kristalize kireçtaşı, mermer, kuvarsit, şist vb.) kayalar bulunmaktadır. Sarı, kırmızı ve beyaz renkli alanlarda ise, manyetik özelliği olan kayalar (volkanik çakıllı kumtaşları, ofiyolitler, dayklar vb.) yer almaktadır. Çalışma alanında gözlenen bu manyetik anomalilere göre iki jeolojik model olasılık dahilindedir (Şekil 19).



Şekil 19. İnceleme alanının rejyonel havadan manyetik anomalileri renk kontur haritası ve jeolojik yorumu. Petrol hidrokarbonları içeren su numuneleri (mavi renkli rakamlı pembe renkli daireler), Erentöz ve Ternek (1959) çalışmasındaki petrol emareleri (bordo renkli üçgenler), graben içerisindeki muhtemel ana yırtılma fayları (siyah renkli çizgiler), tali yırtılma fayları (beyaz renkli tireler) ve muhtemel petrol kapanlarını (mavi ve yeşil renkle işaretlenmiş poligonlar) göstermektedir. (a) jeolojik model 1, (b) jeolojik model 2 (jeolojik modeller, metinde açıklanmıştır)

Jeolojik Model 1 (Şekil 19a):

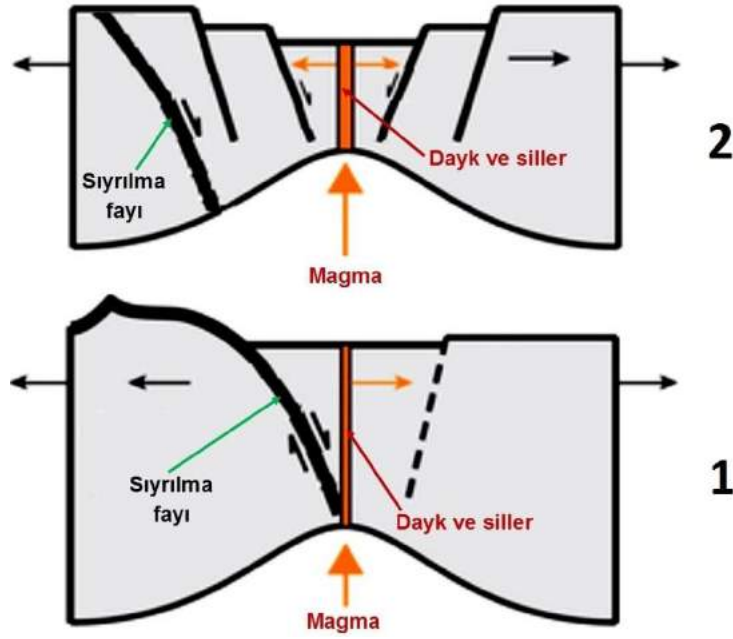
Olgun hidrokarbonlarca zengin su numuneleri, çalışma alanında bulunan petrol ve doğalgaz rezervuarı (ları) için önemli bir kanıttır. Hazırlanan gravite ve manyetik haritaları ile belirlenen, baskın olarak GB-KD doğrultulu hidrokarbonların kapanlanabileceği ve korunabileceği Büyük Menderes grabeninde sıyırılma ve yırtılma faylanmaları etkisi ile havza içerisindeki sedimanter ve metamorfik birimlerin faylanması ve kıvrımlanması sonucunda gelişen karmaşık kıvrımlar (antiklinaller), çalışma alanındaki olası petrol ve doğalgaz kapanlarıdır (Şekil 20). Göreceli olarak yüksek manyetik anomaliler (turuncu, kırmızı ve beyaz renkli anomaliler üzerine açık yeşil renkle işaretlenmiş alanlar) metamorfik şist, gnays vb. kayalardan oluşan antiklinalleri, düşük manyetik anomaliler (yeşil renkli anomaliler üzerine mavi renkle işaretlenmiş alanlar) sedimanter kireçtaşı, kristalize kireçtaşı veya mermerlerden oluşan antiklinallerdir (Şekil 19).



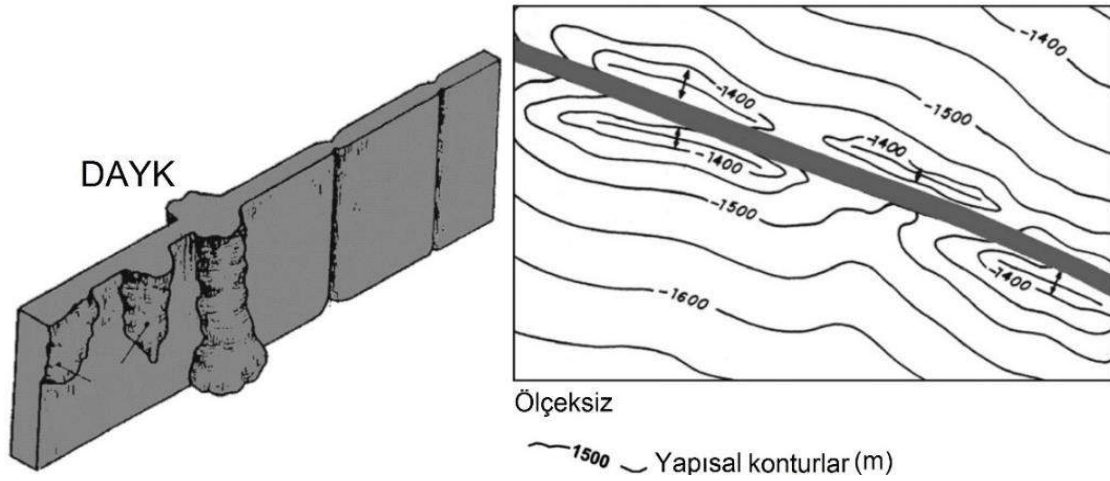
Şekil 20. Çalışma alanında, karmaşık faylanma ve kıvrımınma süreçleri sonucunda oluşmuş, hidrokarbonların kapanlanabileceği ve korunabileceği olası petrol ve doğalgaz kapanları olan sedimanter ve metamorfik birimlerdeki antiklinallerin, yapısal özelliklerine ilişkin çeşitli temsili modeller

Jeolojik Model 2 (Şekil 19b)

Hazırlanan manyetik haritada (Şekil 19) pozitif manyetik anomalilerin (turuncu ve kırmızı renk tonları); manyetit, ilmenit, pirotin vb. mıknatıslanma özelliği olan mineralleri içeren ve havzaya tektonik olaylar sonucunda yerleşmiş, havzadaki yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaların da (Şekil 2) muhtemel ısı kaynağı olan dayk ve sillerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 19). Nitekim, Aldanmaz ve diğ. (2018) çalışmasında, Söke ilçesindeki Miyosen yaşlı lavlar detaylı olarak incelenmiştir. Manyetik anomalilerin, bu lavların Büyük Menderes havzasındaki uzantıları olan dayk ve sillerden kaynaklanması büyük olasılıktır. Manyetik anomalilerin, inceleme alanı batısında bulunan Söke'ye doğru yükselmesi bu görüşü desteklemektedir. Hazırlanan gravite haritasında (Şekil 23), yaklaşık D-B uzanımlı derin bir sedimanter havza olarak belirlenen Büyük Menderes grabeninde bulunan hidrokarbonların, muhtemelen graben oluşumu sırasında yerleşen (Şekil 21) yaklaşık K-G ve KB-GD yönlü bu dayk ve siller (Şekil 19'daki kırmızı ve beyaz renkli alanlar) ve sedimanter kayalar/metamorfik kayalar (Şekil 19'daki mavi renkle işaretlenmiş poligonlar) kontağı boyunca göç etmesi ve hidrokarbonların bu dayk ve siller çevresinde oluşan antiklinallerde (Şekil 19'daki mavi ve yeşil rekle işaretlenmiş poligonlar) birikmesi ve kapanlanması olasığını akla getirmektedir (Şekil 22). Bu nedenle dayk ve sillerin, kaynak kayayı ısıtma (olgunlaştırma) yanısıra göç ve kapanlanma rolleri ile de Büyük Menderes grabeni petrol sisteminin önemli bir bileşeni olduğu düşünülmektedir (Şekil 22).



Şekil 21. Sıyrılma fayı ile ilişkili bir graben oluşumu ve graben oluşumu sırasında dayk ve sillerin havzaya yerleşiminin şematik modeli



Şekil 22. Bir dayk çevresinde oluşan antiklinallerin şematik yapı kontur haritası (Filho ve diğ., 2008). İnceleme alanındaki petrol kapanları için düşünülen model.

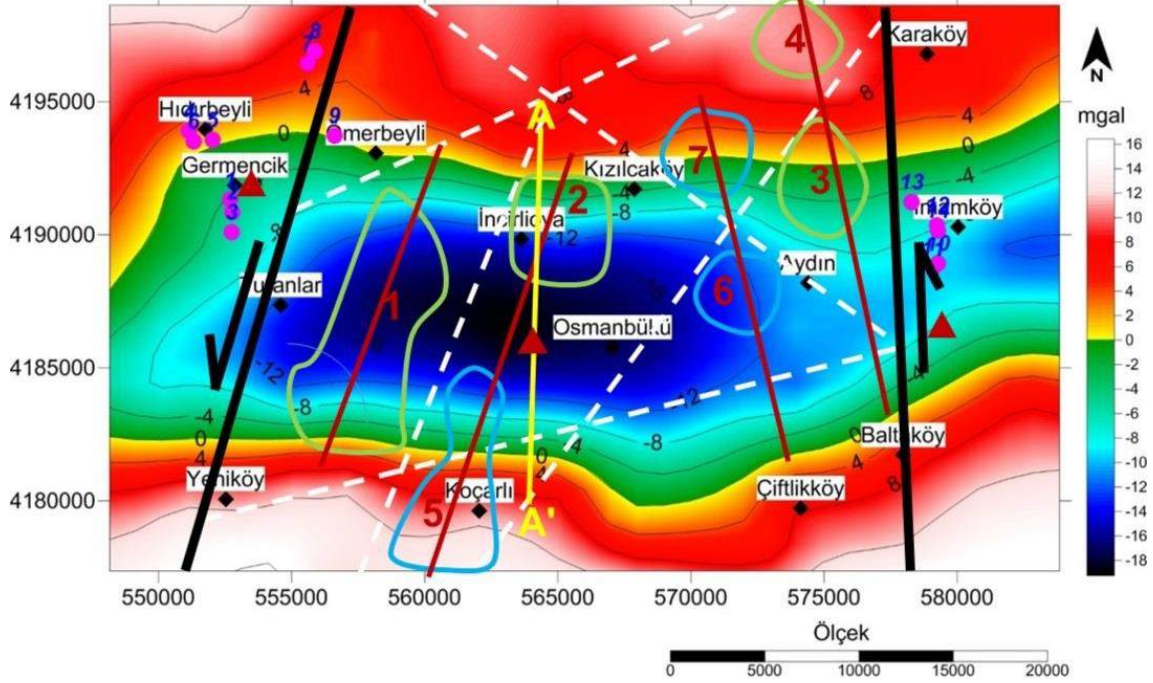
Bir petrol sisteminin ana bileşenleri; (1) hidrokarbon türümüne yol açan koşullar, (2) kaynak kayadan ayrılan hidrokarbonların göç edeceği göç yolları, (3) hidrokarbonlar için rezervuar görevi gören gözenekli ve geçirgen bir kaya, (4) düşük geçirimli yan ve üst (çevresel) birimler ve (5) kapalı bir yapıdır (kapan). Magmatik sokulumlar, bu beş ana petrol sistemi bileşeninden herhangi birini ve/veya birkaçını etkileyebilirler. Magmatik sokulumlar, çatlaklı ve geçirgen olması durumunda, yeni göç yolları oluşturabilir veya kristalize ve geçirimsiz oldukları zaman ise akışkan bariyeri olarak görev üstlenebilirler (Senger ve diğ., 2017). Magmatizmanın, petrol ve doğalgaz aramak için önemli olan güçlü termal ve petrofiziksel değişiklikleri sebep olduğu bilinmektedir. Magmatik sokulumlar, kayaçların gözenekliliğinde ve hidrostatik basınçta değişikliğe neden olur. Magmatizma, ayrıca hidrokarbon kaynak kayalarının ısısını yükselterek organik maddenin olgunlaşmasını artırır. Ayrıca, yapısal ve stratigrafik değişikliklere ve hidrokarbon kapanlarının oluşumuna neden olur. Dayk ve sillerin düşük geçirgenliği, petrolün göçüne engel oluşturmaktadır (Filho ve diğ., 2008).

3.4.2. Gravite haritasının jeolojik yorumu ve derinlik hesapları

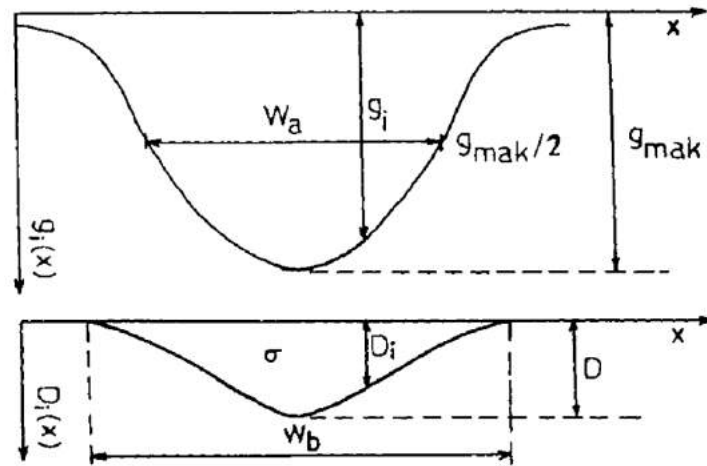
Hazırlanan gravite haritasında, düşük yoğunluklu sedimanter kökenli kayaçlardan oluşan genç çökeller (silttaşı, çamurtaşı, kiltası, çakıltası, şeyl vb.) koyu mavi, açık mavi, yeşil ve sarı renk tonları ile yoğunluğu nispeten daha büyük olan kayaçlar (kireçtaşı, mermer vb.) ise turuncu, kırmızı ve beyaz renk tonları ile temsil edilmişlerdir (Şekil 23).

Çalışmada, iki boyutlu rezidüel gravite anomalilerini derinlik değerlerine dönüştürülebilmek ve havza ve yapı derinliklerini belirlemek amacıyla, Svancara (1983) ve Töpfer (1977) tarafından önerilen yorum yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, yoğunluk kontrastının bilinmesi durumunda gravite anomalisi ve parametreler arasında kurulan basit ilişkilerle sedimanter bir havza ve yapı

derinliği belirlenebilmektedir. Yorumlamanın ilk adımı, anomalinin karakteristik parametrelerini belirlemektir (Şekil 24). $A = g_{\text{mak}}/W_a \times \sigma$ şeklinde tanımlanır. g_{mak} : gravite anomalisinin maksimum genliğidir. W_a : gravite anomalisinin yarı genlik ($g_{\text{mak}}/2$) değerine karşılık gelen uzaklıktır. σ : yoğunluk kontrastıdır. W_b : gravite anomalisinin tam genişliğidir ve $W_b/W_a = (-0.056 \times A) + 1.827$ formülü ile belirlenir. D_i , g_i : gravite anomali değerine karşılık gelen derinliktir. D_o : düz-plaka formülünden elde edilen derinliktir. $D_o = 23.866 \times g_{\text{mak}}/\sigma$ formülü ile belirlenir ve birimi m'dir. D : maksimum derinliktir ve aşağıdaki formül ile belirlenir. $0 < A < 9$ şartı için $D/D_o = 0.072 \times A + 1.00$ $9 < A < 13$ şartı için $D/D_o = 0.12 \times A + 0.57$ şeklindedir (Töpfer, 1977).

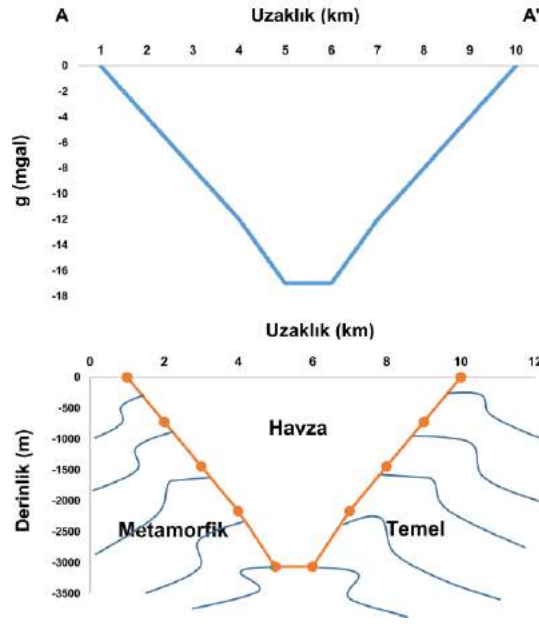


Şekil 23. İnceleme alanının rejyonel gravite anomalileri renk kontur haritası ve jeolojik yorumu. Olgun petrol hidrokarbonları içeren su numuneleri (mavi renkli rakamlı pembe renkli daireler), Erentöz ve Ternek (1959) çalışmasındaki petrol emareleri (bordo renkli üçgenler), graben içerisindeki muhtemel ana yırtılma fayları (siyah renkli çizgiler), tali yırtılma fayları (beyaz renkli tireler) ve muhtemel petrol kapanlarını (mavi ve yeşil renkli daireler) göstermektedir. A-A' : havzanın maksimum derinliğini belirlemek için alınan profil (Şekil 25), bordo renkli çizgiler : Şekil 26-29'daki kesit hatları

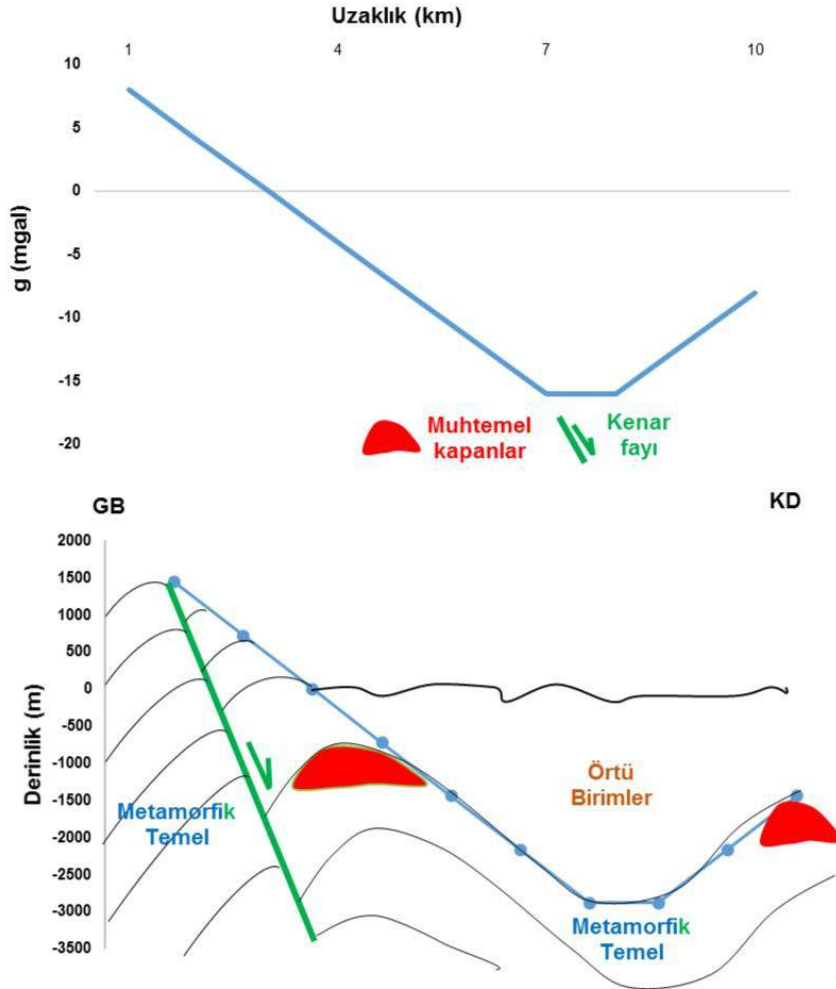


Şekil 24. İdeal bir havza gravite anomalisi ve karakteristik parametreler (Svancara, 1983)

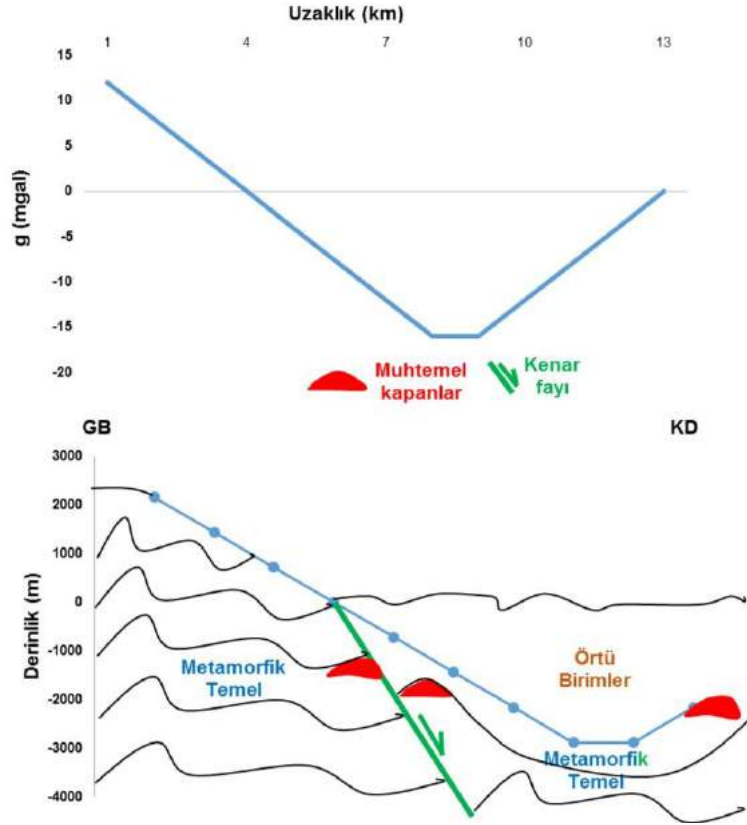
Büyük Menderes grabeninin rezidüel gravite anomali haritasından bir A-A' profili alınmıştır. A-A' profile ait anomalinin maksimum genlik değeri $g_{\text{mak}} = -17$ mgal, yarı genlik ($g_{\text{mak}}/2$) değerine karşılık gelen genişlik ise $W_a = 8.5$ km olarak saptanmıştır. Bu verilere göre, A (9.09) ve D_o (1745 m) değerleri bulunarak havzanın maksimum derinliği, $D = 3060$ m olarak belirlenmiştir (Şekil 25). Havzanın A-A' profiline göre genişliği, $W_b = 11.2$ km olarak hesaplanmıştır. Havzanın yoğunluk kontrastı değeri, yazarın Türkiye havzalarında yaptığı sondajlar ile gravite verileri karşılaştırma çalışmaları tecrübesine dayalı olarak $\sigma = -0.22$ gr/cm³ olarak alınmıştır. Belirlenen muhtemel yapı (kapan) derinlikleri, Şekil 26-29'da verilmiştir.



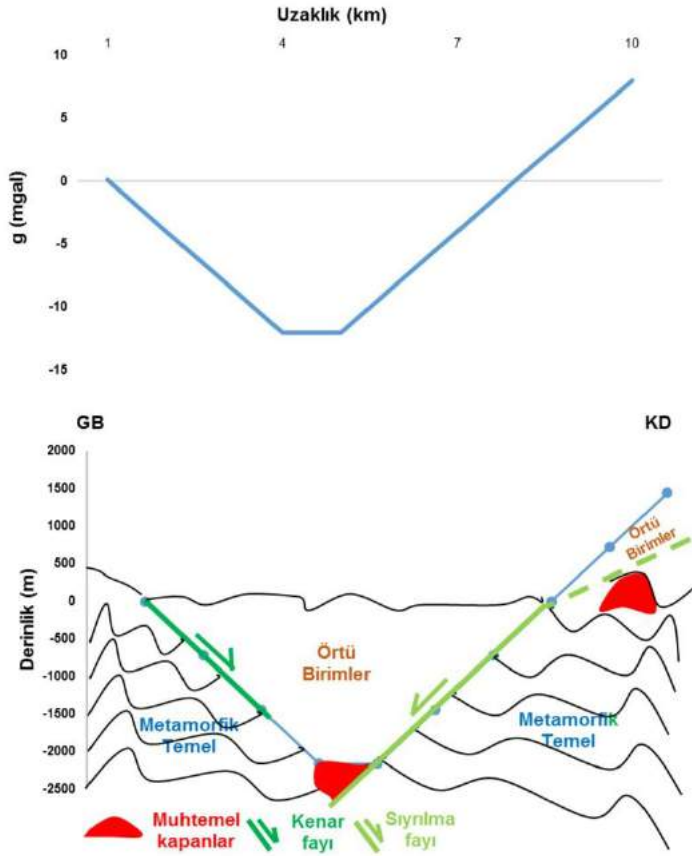
Şekil 25. İnceleme alanındaki maksimum havza derinliği (bkz. Şekil 23)



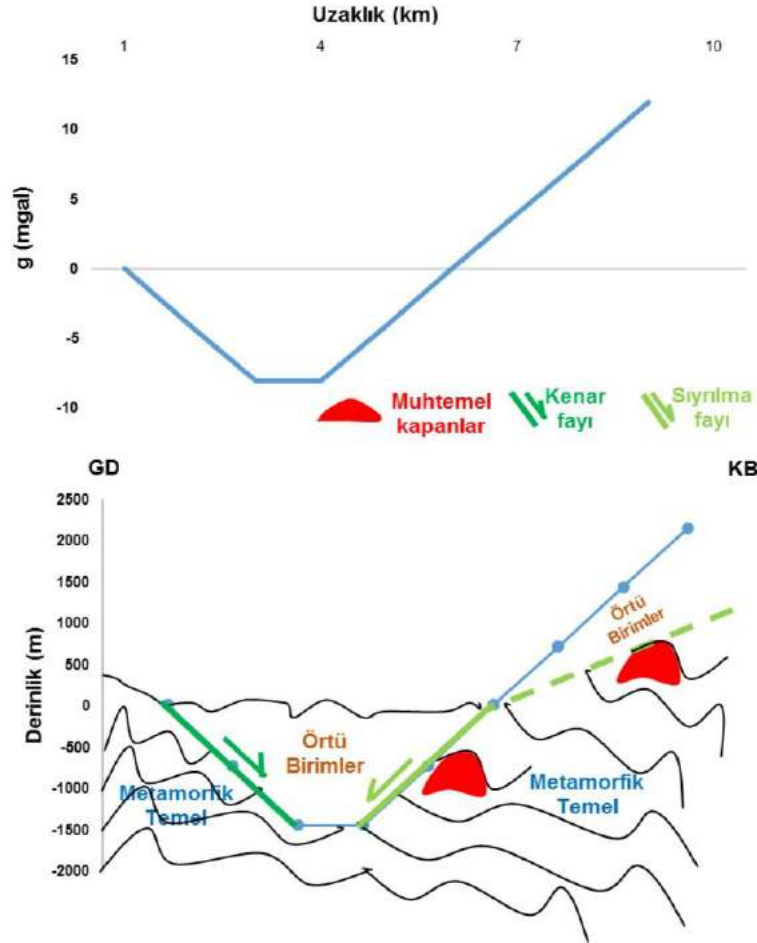
Şekil 26. İnceleme alanındaki 1 nolu yapının derinliği (bkz. Şekil 23)



Şekil 27. İnceleme alanındaki 2 ve 5 nolu yapıların derinliği (bkz. Şekil 23)



Şekil 28. İnceleme alanındaki 6 ve 7 nolu yapıların derinliği (bkz. Şekil 23)



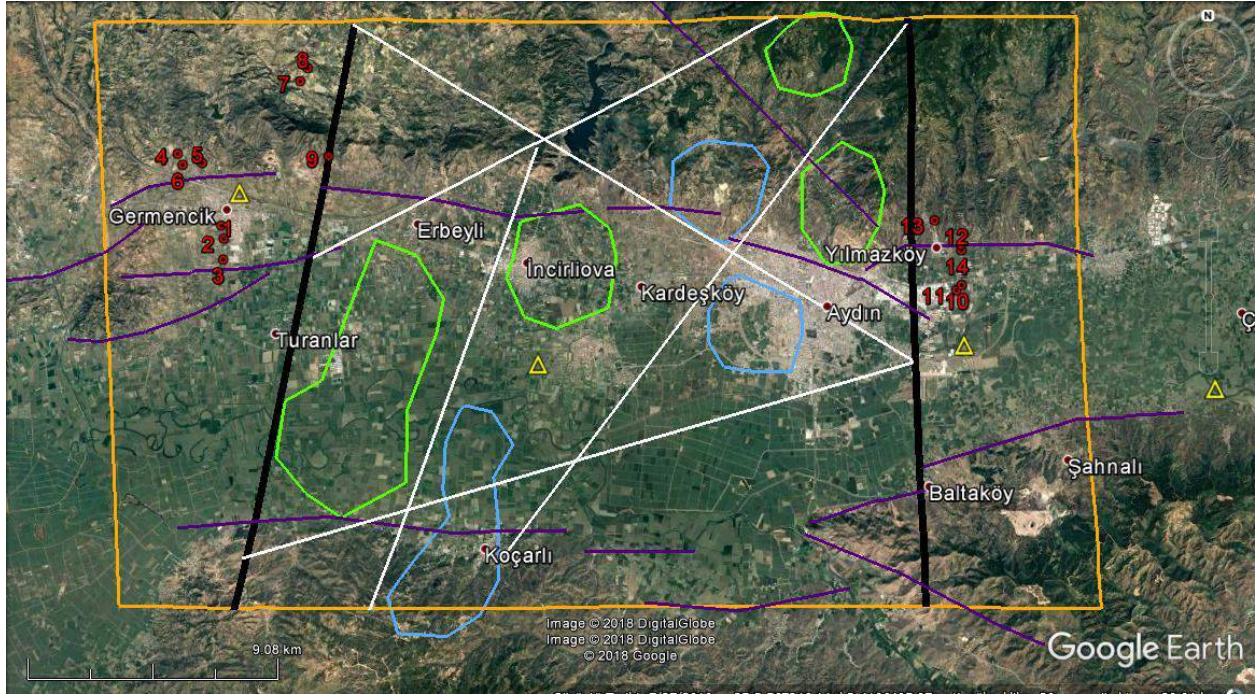
Şekil 29. İnceleme alanındaki 3 ve 4 nolu yapıların derinliği (bkz. Şekil 23)

4. Sonuç ve Öneriler

Su numunelerinde yapılan Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) analiz sonuçlarında, ham petrol kökenli n-alkan hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Olgun hidrokarbonlarca zengin su numuneleri, çalışma alanında bulunan petrol ve doğalgaz rezervuarı (ları) için önemli bir kanıttır. İnceleme alanındaki su numunelerindeki hidrokarbonlar türeten karbonat kaynak kayaları, denizel redüksiyon ortamında çökelmiş ve organik madde baskın olarak Tip II (denizel) kerojenden oluşmuştur. Grabende, Alt-Üst Miyosen aralığında bir gölsel ortam vardır. Dolayısıyla, grabendeki petrol kaynak kayası oluşumu bu göl ortamı öncesine (Miyosen öncesine) aittir. İnceleme alanındaki hidrokarbonlar, olgun ve yüksek olgun (metamorfize) olup, diyajenetik olarak metajenez - katajenez aşamasındaki hafif petrol, kondenseyit ve kuru gazdır.

Çalışma alanındaki hidrokarbonlarca zengin sular, derindeki kıvrımlı yapılardan fay ve kırıklar aracılığıyla yeryüzüne göç etmiş ve sıcaklıklar ile karışmış olmalıdır. Hazırlanan gravite ve manyetik haritaları ile belirlenen, baskın olarak GB-KD doğrultulu hidrokarbonların kapanlanabileceği ve korunabileceği Büyük Menderes grabeninde sıyrılma ve yırtılma faylanmaları etkisi ile havza içerisindeki sedimanter ve metamorfik birimlerin faylanması ve kıvrımlanması sonucunda gelişen karmaşık kıvrımlar (antiklinaller), çalışma alanındaki olası petrol ve doğalgaz kapanlarıdır (Şekil 30). Hazırlanan gravite haritasında, yaklaşık D-B uzanımlı derin bir sedimanter havza olarak belirlenen Büyük Menderes grabeninde belirlenmiş olan olgun hidrokarbonların, muhtemelen graben oluşum sırasında yerleşen yaklaşık K-G ve KB-GD yönlü dayk ve siller ve sedimanter kayalar/metamorfik kayalar kontakları boyunca göç etmesi ve hidrokarbonların bu dayk ve siller çevresinde oluşan antiklinallerde birikmesi ve kapanlanması olasıdır da mevcuttur. Bu nedenle, dayk ve sillerin, kaynak kayayı ısıtma (olgunlaştırma) yanısıra göç ve kapanlanma rolleri ile de Büyük Menderes grabeni petrol sisteminin önemli bir bileşeni olduğu düşünülmektedir.

Hazırlanan gravite ve manyetik haritalarla belirlenmiş olan yapıların yapısal özelliklerini detaylı olarak belirlemek için bu yapılar üzerinde sismik, elektrik rezistivite, IP yöntemlerinden en az biri ile detay (hatlar-profiller arası sık olan) jeofizik çalışmalar yapılmalıdır. Jeofizik araştırma derinliğinin 2500 m seçilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Çalışma alanı ve çevresindeki tüm su kaynaklarından (yüzey suları, soğuk ve sıcak su kuyularından) numuneler alınarak TPH (toplam petrol hidrokarbonları), ayrılabilirliği mutlaka BTEX (benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen izomerleri) ve iyot analizleri yapılmalıdır. Ayrıca, su örneklerinde ^{129}I ve $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) izotop analizleri yapılarak bölgede bu çalışma ile varlığı kanıtlanmış olan petrol sisteminin özellikleri (yaş, kaynak kaya, rezervuar kaya, örtü kaya vb.) tespit edilmelidir.



Şekil 30. İnceleme alanındaki muhtemel petrol kapanları (mavi ve yeşil renkli daireler). Olgun petrol hidrokarbonları içeren su numuneleri (kırmızı renkli rakamlı daireler), Erentöz ve Ternek (1959) çalışmasındaki petrol emareleri (sarı renkli üçgenler), graben içerisindeki muhtemel ana yırtılma fayları (siyah renkli çizgiler), tali yırtılma fayları (beyaz renkli çizgiler), graben kenar fayları-diri faylar (eflatun renkli çizgiler)

Katkı Belirtme

Yazar, su numunelerinin alınmasına olanak ve maddi destek sağlayan Maren Enerji A.Ş. Genel Müdürü Jeo.Müh. Sn. Mehmet ŞİŞMAN'a, numunelerin seçilmesi ve alınmasında katkısı olan Rezervuar Şefi Jeof. Müh. Sn. Mustafa Yasin ÖZBEK'e, numunelerin analizlerini titizlikle gerçekleştiren Türkiye Petrolleri (TPAO) Araştırma ve Geliştirme Merkezi uzmanlarına ve makaleyi incelemek için değerli zamanlarını ayıran hakemlere teşekkür etmeyi bir borç bilmektedir.

Kaynakça

- Aydın, A., 1997. Gravite Verilerinin Normalize Edilmiş Tam Gradyan, Varyasyon ve İstatistik Yöntemleri ile Hidrokarbon Açısından Değerlendirilmesi, Model Çalışmalar ve Hasankale-Horasan (Erzurum) Havzasına Uygulanması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 151 s.
- Aldanmaz, E., Altunkaynak, Ş., Güçtekin, A., 2018. Some remarks on the nature of mantle metasomatism beneath western Anatolian-Aegean region: Contrasting isotopic signatures recorded in the Miocene lavas from the Söke Basin. Geological Journal, 1-18. DOI: 10.1002/gj.338
- Banga, T., Capuano, R.M. and Bissada, K.K., 2011. Petroleum generation in the southeast Texas basin: Implications for hydrocarbon occurrence at the South Liberty salt dome. AAPG Bulletin, 95(7), 1257-1291
- Biester, H., Keppler, F., Putschew, A., Martinez-Cortizas, A., Petri, M., 2004. Halogen retention, organohalogens, and the role of organic matter decomposition on halogen enrichment in two Chilean peat bogs. Environ. Sci. Technol. 38, 1984-1991
- Bozkurt, E., 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey: Geodinamica Acta, v. 16, p. 61-81
- Bray, E.E. and Evans, E.D., 1961. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source rocks. Geochim. Cosmochim. Acta. 22, 2-15
- Bray, E.E. and Evans, E.D., 1965. Hydrocarbons in non-reservoir-rock source beds: Part 1. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 49, 248-257
- Brinkmann, R., 1966. Geotektonische gliederung von West Anatolien, N. Jb. Geol. Paleon. Mh., 10, 603-618

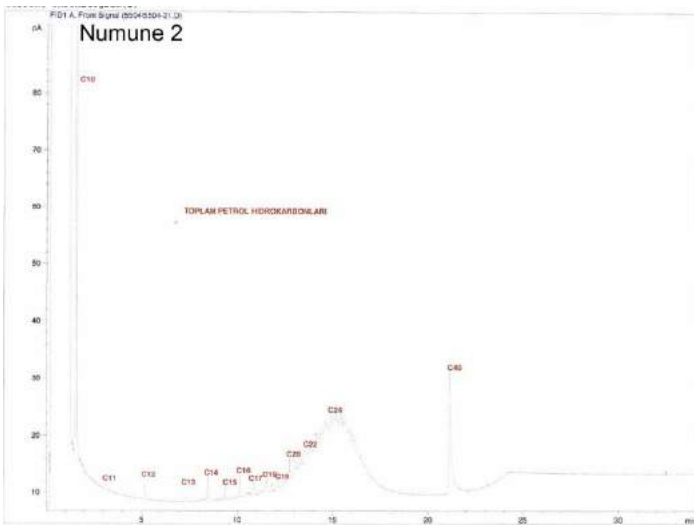
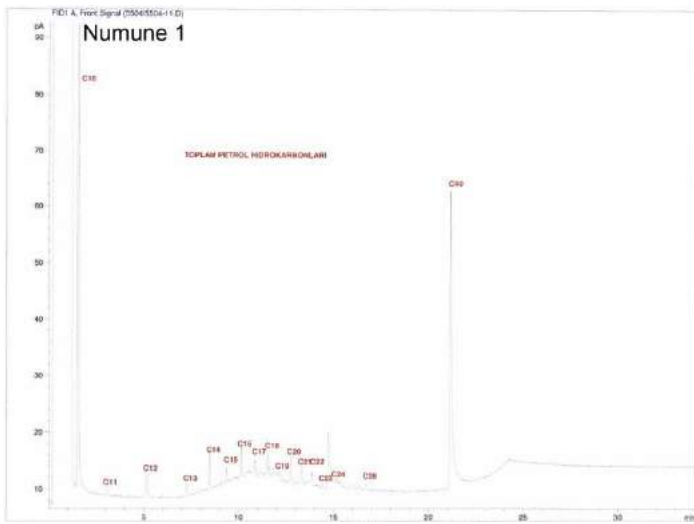
- Cai, C. F., Mei, B. W., Li, W. and Fan, G., 1997. Water-rock interaction in Tarim Basin: Constraints from oilfield water geochemistry. *Chinese Journal of Geochemistry*, 16, 289-303
- Collins, A. G., Bennett, J. H. and Manuel, O. H., 1971. Iodine and algae in sedimentary rocks associated with iodine rich brines. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82, 2607-2610
- Cosgrove, M.E., 1970. Iodine in bituminous Kimmeridge shale of the Dorset coast in England. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34, 830-836
- Çiftçi, B., Temel, R.O. and Iztan, H.Y., 2010. Hydrocarbon occurrences in the western Anatolian (Aegean) grabens, Turkey: Is there a working petroleum system?. *AAPG Bulletin*, 94, 12, 1827-1857
- Çorbacioğlu, H., Kırman, Z.D., Yılmaz, P., Doğan, S., Tokoğlu, E.E., Araç, B., Türesin, F.M., Huvaj, N.Y., Elmacı, A., Türkecan, A.T., Çevik, T., Bahtiyar, İ., Sarıkaya, H., Aydın, M.G., Bakırhan, B. ve Yüksel, M., 2018. Hakkâri-Yüksekova-Hisardağı Bölgesi'nden Alınan Su, Emare ve Kayaç Örneklerinin Değerlendirme Raporu. TPAO Rapor No: 4297 (Yayımlanmamış)
- Didyk, B.M., Simoneit, B.R.T., Brassel, S.C. and Englington, G., 1978. Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, 272, 216-222
- Dora, O. Ö., Kun, N., Candan, O., 1992. Menderes Masifi'nin metamorfik tarihçesi ve jeotektonik konumu, *TJK Bülteni*, 35, 1-14
- Engle, M.A., Reyes, F.R., Varonka, M.S., Orem, W.H., Ma, L., Ianno, A.J., Schell, T.M., Xu, P. and Carroll, K.C., 2016. Geochemistry of formation waters from the Wolfcamp and "Cline" shales: Insights into brine origin, reservoir connectivity, and fluid flow in the Permian Basin, USA. *Chemical Geology*, 425, 76-92
- Erentöz, C. ve Ternek, Z., 1959. Türkiye sedimantasyon havzalarında petrol imkânları. *MTA Dergisi*, 53, 21-36
- Feng, Q.Y., and Han, B.P., 2002. Hydrogeochemical simulation of water-rock interaction under water flood recovery in Renqiu oilfield, Hebei Province, China. *Chinese Journal of Geochemistry*, 21, 156-162
- Filho, A.T., Pimentel, A.M. and Antonioli, L., 2008. Magmatism and petroleum exploration in the Brazilian Paleozoic basins. *Marine and Petroleum Geology*, 25, 143-151
- Frimmel, A., Oschmann, W. and Schwark, L. 2004. Chemostratigraphy of the Posidonia Black Shale, SW Germany: I. Influence of sea-level variation on organic facies evolution. *Chemical Geology*, 206, 199-230
- Flores, E.M.M., Mesko, M.F., Moraes, D.P., Pereira, J.S.F., Mello, P.A., Barin, J.S. and Knapp, G., 2008. Determination of halogens in coal after digestion using the microwave-induced combustion technique. *Anal. Chem.*, 80, 1865-1870.
- Fuge, R. and Johnson, C.C., 1986. The geochemistry of iodine - a review. *Environ. Geochem. Health*. 8(2), 31-54
- Gadirov, V.G., Eppelbaum, L.V., Kuderavets, R.S., Menshov, O.I. and Gadirov, K.V., 2018. Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine, *Acta Geophysica*, doi: 10.1007/s11600-018-0224-0
- Gadirov, V.G. and Eppelbaum, L.V., 2012. Detailed gravity, magnetics successful in exploring Azerbaijan onshore areas. *Oil and Gas Journal*, 5, 60-73
- Gadirov, V.G., 1994. The physical-geological principles of application of gravity and magnetic prospecting in searching oil and gas deposits. *Proceed. of 10th Petroleum Congress and Exhibition of Turkey, Ankara*, pp. 197-203
- Geist, E.L., Childs, J.R. and Scholl, D.W., 1987. Evolution and petroleum geology of Amlia and Amukta intra-arc summit basins, Aleutian Ridge. *Marine and Petroleum Geology*, 4, 334-352
- Griffin, W.R., 1949. Residual gravity in theory and practice. *Geophysics*, 14, 39-58
- Gürer, Ö.F., Sarıca-Filoreau, N., Özbüran, M., Sangu, E., Doğan, B., 2009. Progressive development of the Büyük Menderes Graben based on new data, western Turkey. *Geol. Mag.*, 146(5), 652-673
- Gürgey, K., Simoneit, B.R.T., Batı, Z., Karamandereci, İ.H. and Varol, B., 2007. Origin of petroliferous bitumen from the Büyük Menderes-Gediz geothermal graben system, Denizli-Sarayköy, western Turkey. *Applied Geochemistry*, 22, 1393-1415

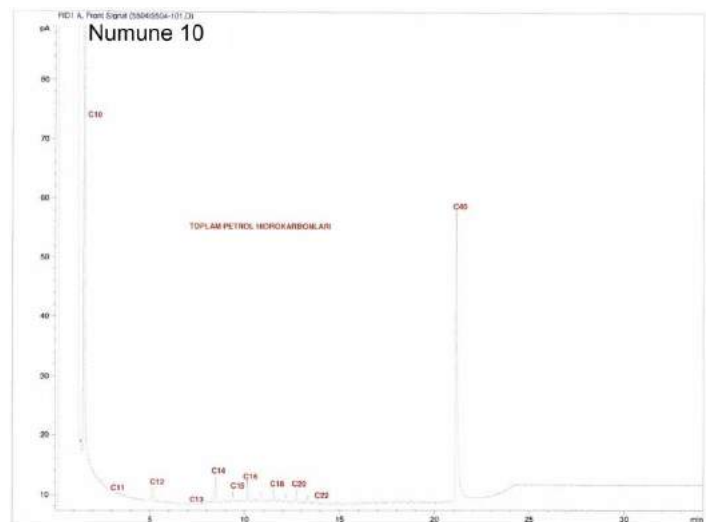
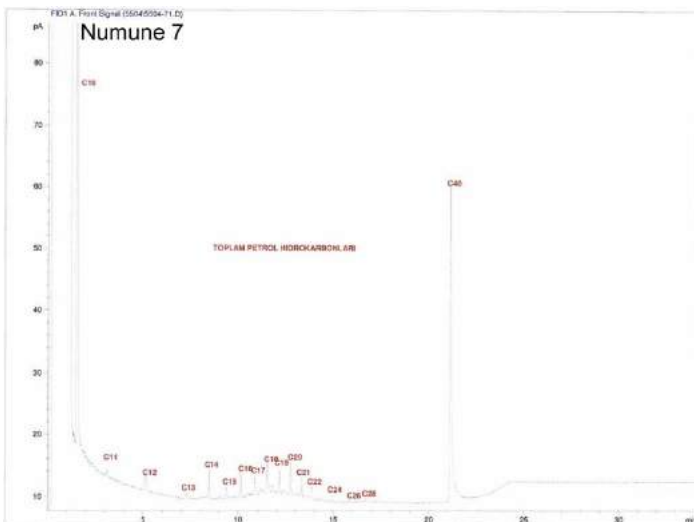
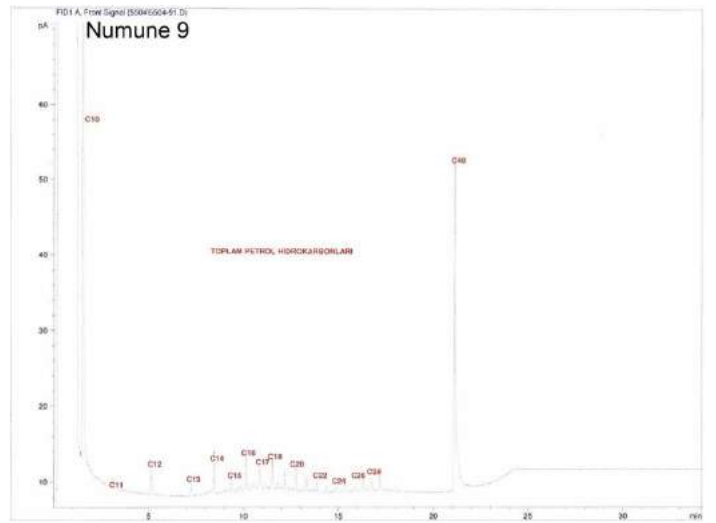
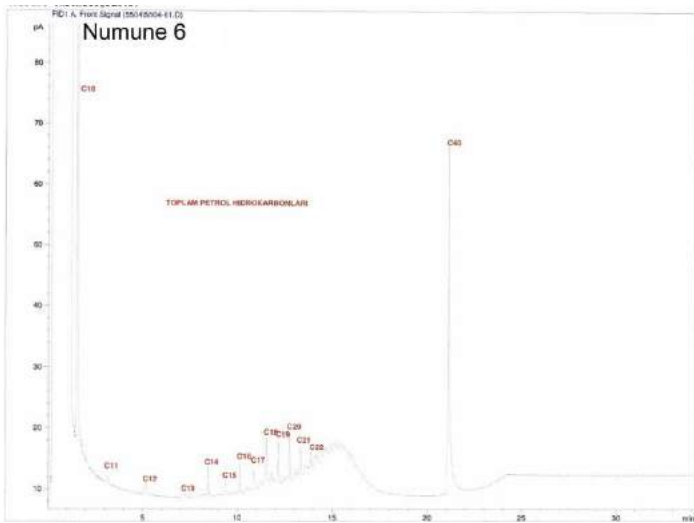
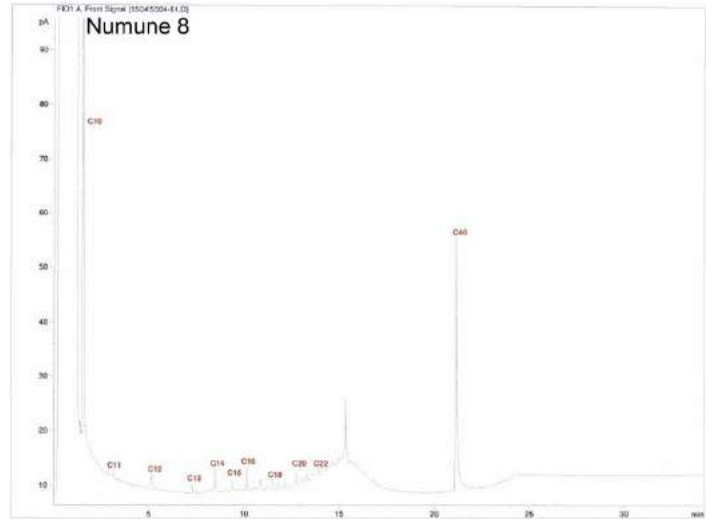
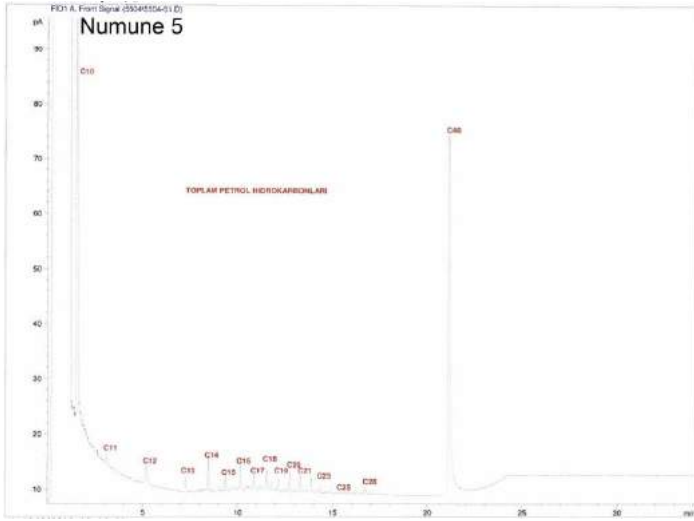
- Hakimi, M.H., Al-Matary, A.M. and Ahmed, A., 2017. Bulk geochemical characteristics and carbon isotope composition of oils from the Sayhut sub-basin in the Gulf of Aden with emphasis on organic matter input, age and maturity. *Egyptian Journal of Petroleum*, <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.06.002>
- Haklıdır T.F.S., Uzun, A. and Şengün, R., 2012. Investigation of reservoir characteristics of high enthalpy geothermal fields on Büyük Menderes Graben and sulphate variations of geothermal fluids in the graben. *Proceedings of International Earth Science Colloquium on the Aegean Region (IESCA)*, 1-5 October 2012, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.
- Hartkopf-Fröder, C., Kloppisch, M., Mann, U., Neumann-Mahlkau, P., Schaefer, R.G. and Wilkes, H., 2007. The end-Frasnian mass extinction in the Eifel Mountains, Germany: new insights from organic matter composition and preservation. *Geological Society, London, Special Publications*, 278, 173-196. doi: 10.1144/SP278.8
- Heroux, Y., Chagnon, A.G. and Bertrand, R., 1979. Compilation and correlation of major thermal maturation indicators. *AAPG Bulletin*, 63, 2128-2144
- Hitchon, B. and Filby, R.H. 1983. Trace Elements in Alberta Crude Oils. Open File Report, 1983-02, Alberta Research Council, Edmonton. 37 p.
- Hummel, S., 2011. The Use of Iodine to Characterize Formation Waters in Oil and Gas Fields. Syracuse University. MSc. Thesis, 66 p.
- Hunt, J.M., 1995. *Petroleum Geochemistry and Geology*. W.H. Freeman and Company, New York. 743 p.
- Ivakhnenko, O.P., Abirov, R. and Logvinenko, A., 2015. New method for characterisation of petroleum reservoir fluid-mineral deposits using magnetic analysis. *Energy Procedia*, 76, 454-462
- Kendrick, M.A., Phillips, D., Wallace, M. and Miller, J.McL., 2011. Halogens and noble gases in sedimentary formation waters and Zn-Pb deposits: A case study from the Lennard Shelf, Australia. *Applied Geochemistry*, 26, 2089-2100
- Li, M., Lou, Z. H., Zhu, R., Jin, A. M. and Ye, Y., 2014. Distribution and geochemical characteristics of fluids in ordovician marine carbonate reservoirs of the Tahe oilfield. *Journal of Earth Science*, 25, 486-494
- Liu, S., Qi, S., Luo, Z., Liu, F., Ding, Y., Huang, H., Chen, Z., Cheng, S., 2018. The origin of high hydrocarbon groundwater in shallow Triassic aquifer in Northwest Guizhou, China. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(1), 415-433
- Lyatsky, H.V., Thurston, J.B., Brown, R.J. and Lyatsky, V.B., 1992. Hydrocarbon exploration applications of potential field horizontal gradient vector maps. *Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder*, 17(9), 10-15
- Mathur, S., Jain, V.K., Tripathi, G.K., Jassal, J.K. & Chandra, K. 1988. Biological marker geochemistry of crude oils of Cambay Basin, India. In: Kumar, R.K., Dwivedi, P., Banerjee, V. & Gupta, V. (eds) *Petroleum Geochemistry and Exploration in the Afro-Asian Region*. Balkema, Rotterdam, 459-473
- Means, J.L. and Hubbard, N.J., 1987. Short-chain aliphatic acid anions in deep subsurface brines: A review of their origin, occurrence, properties, and importance and new data on their distribution and geochemical implications in the Palo Duro Basin, Texas. *Org. Geochem.* 11(3), 177-191
- Nettleton, L.L., 1976. *Gravity and Magnetics in Oil Prospecting*. McGraw-Hill, 464 p.
- Okay, A., 2001. Stratigraphic and metamorphic inversions in the Central Menderes Massif: A new structural model, *International Journal of Earth Sciences*, 89, 709-727
- Onojake, M.C., Osuji, L.C. and Oforika, N.C., 2013. Preliminary hydrocarbon analysis of crude oils from Umutu / Bomu fields, south west Niger Delta Nigeria. *Egyptian Journal of Petroleum*, 22, 217-224
- Özçelik, O., Altunsoy, M., Hökerek, S., Ünal, N. and Erik, N.Y., 2013. Organic geochemical characteristics of the coaly Miocene units in the Şahinali (Aydın) region, Büyük Menderes Graben, Turkey, *Goldschmidt2013 Conference Abstracts*, DOI:10.1180/minmag.2013.077.5.15
- Öner, Z. and Dilek, Y., 2013. Fault kinematics in supradetachment basin formation, Menderes core complex of western Turkey. *Tectonophysics*, 608, 1394-1412

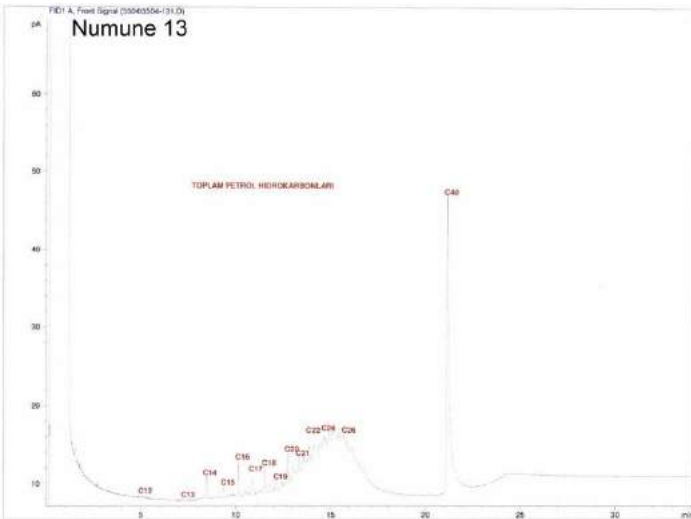
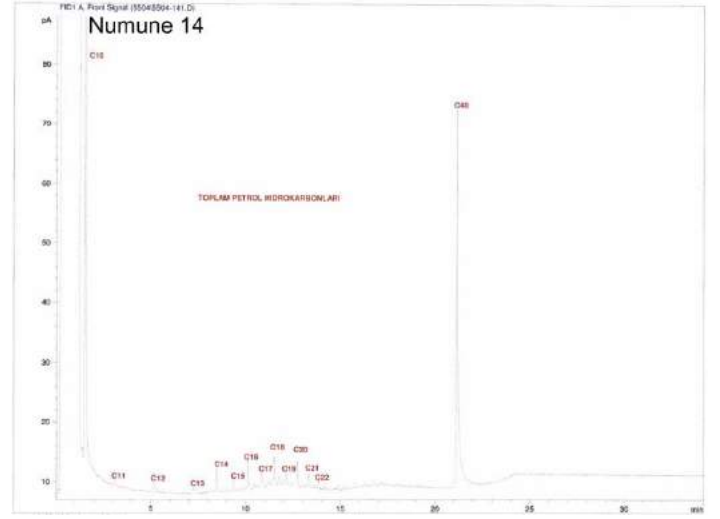
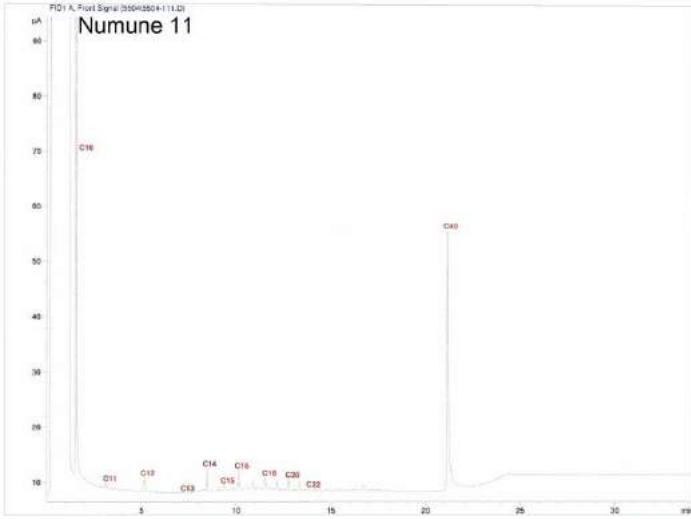
- Özdemir, A., 2018a. Hasanoğlan (Ankara) petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. doi: 10.5505/pajes.2018.12316
- Özdemir, A., 2018b. Suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizinin petrol ve doğalgaz arama amaçlı kullanımı: Türkiye'den ilk önemli sonuçlar. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(4), 615-636
- Özdemir, A., 2018c. Türkiye'nin iyotça zengin suları ve kara alanlarının petrol ve doğalgaz potansiyeli. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 1(2), 103-150
- Özdemir, A., 2018d. İyotça zengin yüzey ve yeraltı sularının oluşum mekanizmaları ve petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkileri. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2), 149-185
- Özdemir, A., 2018e. Relationships of formation, migration and trapping between petroleum and iodine. Natural and Engineering Sciences, 3(3), 110-153
- Özdemir, A., 2018f. Güneydoğu Anadolu havzasında petrol ile iyot ilişkisi. MTA Dergisi, <http://dx.doi.org/10.19076/mta.464160>
- Özdemir, A., Yaşar, E. and Çevik, G., 2017. An importance of the geological investigations in Kavaklıdere geothermal field (Turkey). Geomechanics, Geophysics, Geo-Energy and Geo-Resources, 3, 29-49
- Özdemir, A. and Şahinoğlu, 2018. Subsurface geology and geothermal potential of the Kavaklıdere geothermal field (Western Turkey). International Journal of Science and Research, 7(3), 1224-1249. Doi: 10.21275/ART2018930
- Paşteka, R., 2000. 2D semi-automated interpretation methods in gravimetry and magnetometry. Acta Geologica Universitatis Comeniana, 55, 5-50
- Peters, K.E., Fraser, T.H., Amris, W., Rustanto, B. and Hermanto, E., 1999. Geochemistry of crude oils from eastern Indonesia. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 83, 1927-1942
- Peters, K.E. and Moldowan, J.M., 1993. The Biomarker Guide, Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Englewood Cliffs, Jersey, Prentice Hall, 339-363
- Piskarev, A.L. and Tchernyshev, M.Y., 1997. Magnetic and gravity anomaly patterns related to hydrocarbon fields in northern West Siberia. Geophysics, 62(3), 831-841
- Sakroon, S.A., 2008. Effect of oilfield brine on groundwater quality in Marmul area, Sultanate of Oman. United Arab Emirates University, MSc. Thesis, 146 p.
- Sari, A., Bahtiyar, I., Brenner, R.L. and Dogan, A.U., 2003. Potential source rocks for the crude oils in the İkizce and Tokaris oil fields, SE Turkey. Petroleum Geoscience, 9, 347-356
- Satyana, A.H., 2015. Subvolcanic hydrocarbon prospectivity of Java: Opportunities and challenges. Proceedings, Indonesian Petroleum Association. Thirty-Ninth Annual Convention & Exhibition, May 2015. IPA15-G-105
- Svancara, J., 1983. Approximate method for direct interpretation of gravity anomalies caused by surface three-dimensional geologic structures. Geophysics, 48(3), 361-366, <https://doi.org/10.1190/1.1441474>
- Senger, K., Millett, J., Planke, S., Ogata, K., Eide, C.H., Festøy, M., Galland, O. and Jerram, D.A., 2017. Effects of igneous intrusions on the petroleum system: a review. First Break, 35, 1-10
- Singleton, J.S., 2011. Kinematic and geometric evolution of the Buckskin-Rawhidemetamorphic core complex, west-central Arizona. The University of Texas at Austin. Thesis of Doctor of Philosophy. 235 p.
- Stephen, O.I. and Iduma, U., 2018. Hydrocarbon potential of Nigeria's Inland Basin: Case study of Afikpo basin. Journal of Applied Geology and Geophysics, 6(4), 1-24
- Şengör, A.M.C., Satır, M., Akkök, R., 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey, Tectonics, 3(7), 693-707
- Şimşek, Ş., 2003. Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes Graben, Turkey, Geothermics, 32, 669-678
- Tissot, B.P. and Welte, D.H., 1984. Petroleum Formation and Occurrence. Springer-Verlag, 699 p.

- Tran, K.L. and Philippe, B., 1993. Oil and rock extract analysis. in Applied Petroleum Geochemistry (M.L., Bordenave, eds.), p. 373-394
- Thompson, J.G., 1982. Hydrocarbon source rock analyses of Pakawau Group and Kapuni Formation sediments, northwest Nelson and offshore South Taranaki, New Zealand. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 25(2), 141-148, DOI:10.1080/00288306.1982.10421406
- Töpfer, K.D., 1977. Improved technique for rapid interpretation of gravity anomalies caused by two-dimensional sedimentary basins. Journal of Geophysics, 43, 645-654 (in Švancara, J., 1983. Approximate method for direct interpretation of gravity anomalies caused by surface three-dimensional geologic structures. Geophysics, 48(3), 361-366, <https://doi.org/10.1190/1.1441474>)
- Volkman, J.K. and Maxwell, J.R., 1986. Acyclic isoprenoids as biological markers. In: Biological Markers in the Sedimentary Record (R.B. Johns, eds.), Elsevier, New York; pp. 1-42
- Waples, D.W., 1985. Geochemistry in Petroleum Exploration. International Human Resources Development Corp., 232 p.
- Worden, R.H., 1996. Controls on halogen concentrations in sedimentary formation waters. Mineralogical Magazine, 60, 259-274
- Yazman, M., Çopur, S., Özdemir, İ., Iztan, Y.H., Sayılı, A., Batı, Z., 2004. Büyük Menderes Grabeninin Jeolojisi, Petrol Olanakları (Denizli'den Germecik'e) ve Nazilli-1 Arama Kuyusu, TPAO Raporu, Rapor No: 4546, 71 s.

EK-1: SU NUMUNELERİNİN GAZ KROMATOGRAMLARI







EK-2: SU NUMUNELERİNİN GAZ KROMATOGRAMI ANALİZİ İNTEGRASYONLARI

NUMUNE 1

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	9,20	1,90
2	n-C12	5,16	26,30	4,10
3	n-C13	7,24	9,80	2,10
4	n-C14	8,46	23,00	6,50
5	n-C15	9,36	7,60	2,50
6	n-C16	10,14	16,20	5,20
7	n-C17	10,86	8,10	2,40
8	n-C18	11,52	15,10	4,20
9	n-C19	12,14	11,80	2,80
10	n-C20	12,74	17,40	4,50
11	n-C21	13,31	19,80	3,90
12	n-C22	13,86	7,70	2,00
13	n-C23	14,39	3,50	0,92
14	n-C24	14,90	3,20	0,86
15	n-C25	15,39	5,10	0,70
16	n-C26	15,87	3,20	0,68
17	n-C27	16,32	3,80	0,69
18	n-C28	16,74	5,20	0,90

NUMUNE 2

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	4,50	0,87
2	n-C12	5,16	15,40	2,50
3	n-C13	7,24	6,20	1,30
4	n-C14	8,45	14,30	4,20
5	n-C15	9,36	6,50	2,10
6	n-C16	10,14	13,10	4,00
7	n-C17	10,85	7,40	2,30
8	n-C18	11,51	10,60	3,10
9	n-C19	12,14	10,10	2,20
10	n-C20	12,74	15,00	3,50
11	n-C21	13,31	9,00	2,30
12	n-C22	13,87	11,10	2,40
13	n-C23	14,40	9,60	1,80
14	n-C24	14,91	13,00	2,40
15	n-C25	15,41	12,80	2,50
16	n-C26	15,88	11,00	1,80

NUMUNE 3

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	6,10	1,40
2	n-C12	5,16	23,90	3,80
3	n-C13	7,24	9,20	1,90
4	n-C14	8,46	20,10	5,80
5	n-C15	9,36	8,60	2,60
6	n-C16	10,14	16,20	5,10
7	n-C17	10,85	9,10	2,70
8	n-C18	11,52	11,50	3,40
9	n-C19	12,14	8,20	2,20
10	n-C20	12,74	12,60	3,70
11	n-C21	13,31	7,50	2,10
12	n-C22	13,86	4,70	1,30
13	n-C23	14,39	2,90	0,64
14	n-C24	14,90	3,30	0,79
15	n-C25	15,38	3,00	0,63
16	n-C26	15,86	3,60	0,84
17	n-C27	16,31	3,60	0,72
18	n-C28	16,73	7,70	1,40
19	n-C29	17,18	2,80	0,51
20	n-C30	17,59	1,90	0,34
21	n-C31	17,99	1,60	0,28

NUMUNE 4

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	6,00	1,20
2	n-C12	5,16	14,00	2,30
3	n-C13	7,24	5,30	1,10
4	n-C14	8,46	12,30	3,60
5	n-C15	9,37	4,20	1,40
6	n-C16	10,14	10,80	3,50
7	n-C17	10,85	4,40	1,40
8	n-C18	11,52	6,80	2,20
9	n-C19	12,14	5,70	1,50
10	n-C20	12,74	14,20	4,00
11	n-C21	13,31	14,90	4,00
12	n-C22	13,86	8,30	2,20
13	n-C23	14,39	3,40	0,80
14	n-C24	14,91	2,00	0,49
15	n-C25	15,39	1,60	0,30
16	n-C26	15,87	2,20	0,39
17	n-C27	16,32	1,90	0,32
18	n-C28	16,72	3,70	0,68
19	n-C29	17,18	1,00	0,17

NUMUNE 5

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	8,80	1,80
2	n-C12	5,16	26,30	4,30
3	n-C13	7,24	10,40	2,20
4	n-C14	8,45	22,30	6,50
5	n-C15	9,36	7,80	2,60
6	n-C16	10,14	19,70	5,80
7	n-C17	10,85	7,50	2,50
8	n-C18	11,52	10,90	3,40
9	n-C19	12,14	7,80	2,00
10	n-C20	12,74	12,80	3,50
11	n-C21	13,31	11,00	2,90
12	n-C22	13,86	9,20	2,40
13	n-C23	14,39	4,40	1,10
14	n-C24	14,90	3,40	0,82
15	n-C25	15,39	2,60	0,57
16	n-C26	15,86	2,90	0,67
17	n-C27	16,31	3,00	0,59
18	n-C28	16,72	6,60	1,20
19	n-C29	17,19	1,30	0,30

NUMUNE 6

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	6,20	1,30
2	n-C12	5,16	15,50	2,50
3	n-C13	7,24	6,30	1,40
4	n-C14	8,45	15,50	4,60
5	n-C15	9,36	5,30	1,70
6	n-C16	10,14	14,80	4,70
7	n-C17	10,85	12,20	3,00
8	n-C18	11,51	25,90	7,40
9	n-C19	12,14	25,80	6,60
10	n-C20	12,74	29,50	7,80
11	n-C21	13,31	16,20	4,20
12	n-C22	13,86	10,00	2,60
13	n-C23	14,39	8,90	1,50
14	n-C24	14,91	7,60	1,60
15	n-C25	15,41	8,20	1,60
16	n-C26	15,88	7,00	1,20

NUMUNE 7

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	6,20	1,30
2	n-C12	5,16	15,80	2,60
3	n-C13	7,24	5,80	1,30
4	n-C14	8,45	14,10	4,20
5	n-C15	9,36	4,70	1,60
6	n-C16	10,14	13,90	4,40
7	n-C17	10,85	8,60	2,60
8	n-C18	11,51	20,80	5,60
9	n-C19	12,14	13,50	3,60
10	n-C20	12,74	20,30	5,60
11	n-C21	13,31	11,30	2,90
12	n-C22	13,86	6,70	1,80
13	n-C23	14,39	2,70	0,62
14	n-C24	14,90	3,20	0,69
15	n-C25	15,38	2,60	0,36
16	n-C26	15,86	2,70	0,54
17	n-C27	16,32	2,50	0,42
18	n-C28	16,72	6,30	1,20

NUMUNE 8

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	6,50	1,30
2	n-C12	5,16	18,10	2,90
3	n-C13	7,24	7,10	1,50
4	n-C14	8,45	15,80	4,60
5	n-C15	9,36	5,40	1,80
6	n-C16	10,14	12,40	3,90
7	n-C17	10,85	6,10	1,80
8	n-C18	11,51	9,70	2,50
9	n-C19	12,14	5,10	1,20
10	n-C20	12,74	8,70	2,40
11	n-C21	13,31	5,80	1,60
12	n-C22	13,86	4,70	1,40
13	n-C23	14,39	4,20	0,83
14	n-C24	14,91	5,30	1,20
15	n-C26	15,87	5,40	1,10
16	n-C27	16,32	3,00	0,63
17	n-C28	16,75	3,40	0,63

NUMUNE 9

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	5,40	1,10
2	n-C12	5,16	19,40	3,20
3	n-C13	7,24	7,50	1,60
4	n-C14	8,45	18,20	5,40
5	n-C15	9,36	7,00	2,30
6	n-C16	10,14	15,70	5,00
7	n-C17	10,85	8,80	2,70
8	n-C18	11,51	12,30	3,80
9	n-C19	12,14	8,60	2,30
10	n-C20	12,74	11,80	3,30
11	n-C21	13,31	6,90	1,80
12	n-C22	13,86	4,90	1,30
13	n-C23	14,39	3,70	0,92
14	n-C24	14,90	3,80	0,85
15	n-C25	15,38	8,80	1,30
16	n-C26	15,86	4,10	0,93
17	n-C27	16,31	9,00	2,00
18	n-C28	16,73	8,20	1,50
19	n-C29	17,18	8,20	1,80
20	n-C30	17,59	1,50	0,29
21	n-C31	17,99	2,80	0,55

NUMUNE 10

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	5,80	1,20
2	n-C12	5,16	17,10	2,80
3	n-C13	7,24	6,20	1,40
4	n-C14	8,45	15,00	4,30
5	n-C15	9,36	5,30	1,70
6	n-C16	10,14	12,00	3,90
7	n-C17	10,85	5,80	1,70
8	n-C18	11,51	8,60	2,50
9	n-C19	12,14	5,40	1,40
10	n-C20	12,74	8,90	2,40
11	n-C21	13,31	6,00	1,50
12	n-C22	13,86	3,30	0,91
13	n-C23	14,39	1,60	0,41
14	n-C24	14,89	1,90	0,43
15	n-C25	15,38	1,60	0,34
16	n-C26	15,86	2,00	0,43
17	n-C27	16,32	1,60	0,33
18	n-C28	16,73	4,00	0,65

NUMUNE 11

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	5,70	1,20
2	n-C12	5,16	15,00	2,60
3	n-C13	7,24	6,00	1,30
4	n-C14	8,45	13,50	4,00
5	n-C15	9,36	6,10	1,80
6	n-C16	10,14	11,10	3,70
7	n-C17	10,85	4,60	1,60
8	n-C18	11,51	7,20	2,40
9	n-C19	12,14	5,20	1,40
10	n-C20	12,74	9,20	2,50
11	n-C21	13,31	6,20	1,60
12	n-C22	13,86	4,30	1,10
13	n-C23	14,39	2,10	0,50
14	n-C24	14,90	2,20	0,52
15	n-C25	15,38	1,70	0,40
16	n-C26	15,86	2,30	0,53
17	n-C27	16,31	2,10	0,46

NUMUNE 12

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	7,40	1,60
2	n-C12	5,16	18,90	3,10
3	n-C13	7,24	8,20	1,70
4	n-C14	8,45	16,40	4,80
5	n-C15	9,36	5,40	1,80
6	n-C16	10,14	14,50	4,40
7	n-C17	10,85	5,80	2,00
8	n-C18	11,52	9,30	2,80
9	n-C19	12,14	7,60	1,80
10	n-C20	12,74	12,60	3,30
11	n-C21	13,32	8,10	2,20
12	n-C22	13,87	5,10	1,20
13	n-C23	14,40	3,00	0,56

NUMUNE 13

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C12	5,18	1,60	0,28
2	n-C13	7,24	2,40	0,42
3	n-C14	8,45	9,20	2,70
4	n-C15	9,36	4,30	1,40
5	n-C16	10,14	14,60	4,10
6	n-C17	10,85	6,60	1,80
7	n-C18	11,51	11,40	2,90
8	n-C19	12,14	7,30	1,70
9	n-C20	12,74	14,90	3,60
10	n-C21	13,31	11,50	2,40
11	n-C22	13,86	6,60	1,80
12	n-C23	14,40	8,00	1,10
13	n-C24	14,92	8,30	1,50
14	n-C25	15,41	8,90	1,60
15	n-C26	15,88	8,40	1,20
16	n-C27	16,33	3,30	0,51
17	n-C28	16,73	6,10	0,93

NUMUNE 14

PIK NO	BİLEŞEN ADI	RT	ALAN	YÜKSEKLİK
1	n-C11	3,11	7,20	1,50
2	n-C12	5,16	18,90	3,10
3	n-C13	7,24	7,90	1,60
4	n-C14	8,45	18,00	5,30
5	n-C15	9,36	6,00	2,00
6	n-C16	10,14	16,10	5,10
7	n-C17	10,85	8,60	2,60
8	n-C18	11,51	17,30	4,70
9	n-C19	12,14	13,80	3,20
10	n-C20	12,74	15,90	4,20
11	n-C21	13,31	9,90	2,20
12	n-C22	13,86	5,40	1,40
13	n-C23	14,39	2,80	0,57
14	n-C24	14,90	3,50	0,75
15	n-C25	15,38	2,50	0,48
16	n-C26	15,86	3,20	0,66
17	n-C27	16,31	1,80	0,43
18	n-C28	16,72	4,90	0,83



Nanofiber Yapılı Aşırı Yükseltgenmiş Polipirol Modifiye Kalem Ucu Elektrotların Elektrokimyasal Epinefrin Tayininde Kullanımı

Levent Özcan^{1*}

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4504-4237)

(İlk Geliş Tarihi 5 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.535650)

ATIF/REFERENCE: Özcan, L. (2019). Nanofiber Yapılı Aşırı Yükseltgenmiş Polipirol Modifiye Kalem Ucu Elektrotların Elektrokimyasal Epinefrin Tayininde Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 355-362.

Öz

Bu çalışmada, kalem ucu elektrot yüzeyinde elektrokimyasal sentezlenerek aşırı yükseltgenen polipirol nanofiber elektrotlar hazırlanmış ve (KUE/AYPP-NF) epinefrin tayinlerinde elektrokimyasal sensör olarak kullanımı araştırılmıştır. Modifiye elektrodun epinefrin (adrenalin) tayinlerine yönelik elektrokimyasal incelenmesinde ve analitik performanslarının belirlenmesinde dönüşümlü voltametri ve diferansiyel puls voltametri (DPV) tekniği kullanılmıştır. Epinefrin tayinlerine pH'nın etkisi fosfat tamponu çözeltisinde KUE/AYPP-NF kullanılarak incelenmiş ve en yüksek pik akımına pH 4,0 değerinde ulaşıldığı tespit edilmiştir. Nanofiber yapıda olmayan aşırı yükseltgenmiş polipirol ile karşılaştırıldığında nanofiber yapının epinefrin yükseltgenmesini arttırdığı belirlenmiştir. DPV tekniği kullanılarak KUE/AYPP-NF için epinefrin yükseltgenmesine ait pik akımı 10-200 µM arasında 0,998 korelasyon katsayısı ile doğrusallık göstermektedir. Tayin sınırı (LOD) 2,2 µM olarak hesaplanmıştır (S/N=3). Sonuçlar KUE/AYPP-NF elektrotların epinefrin tayinlerinde elektrokimyasal sensör olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Epinefrin, Adrenalin, Nanofiber yapılu polipirol, Aşırı yükseltgenmiş polipirol, Modifiye elektrot, Kalem ucu elektrot.

Electrochemical Epinephrine Determination by Nanofiber Structured Overoxidized Polypyrrole Modified Pencil Graphite Electrodes

Abstract

In this study, the overoxidized polypyrrole nanofiber on pencil graphite electrode (PGE/OPP-NF) surface were prepared and investigated to be used as an electrochemical sensor for determination of epinephrine (adrenaline,). Cyclic voltammetry and differential pulse voltammetry techniques were used for electrochemical investigation and determination of analytic performance for epinephrine detection, respectively. The effect of pH on epinephrine determination was investigated by using PGE/OPP-NF in phosphate buffer solution and the highest peak current was reached at pH 4.0. It was determined that the nanofiber structure increased the epinephrine oxidation compared to the non-nanofibre structured overoxidized polypyrrole. The peak current of epinephrine oxidation by PGE/OPP-NF determined by using DPV technique is linear with a correlation coefficient of 0.998 in the range of 10-200 µM. The detection limit (LOD) of epinephrine is 2.2 µM. The results showed that PGE/OPP-NF electrodes could be used as electrochemical sensors for epinephrine determination.

Keywords: Epinephrine, Adrenaline, Nanofiber structured polypyrrole, Overoxidized polypyrrole, Modified electrode, Pencil graphite electrode.

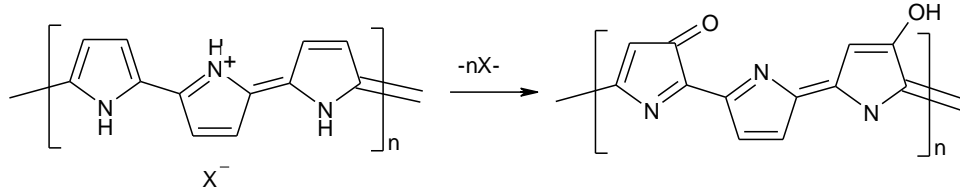
1. Giriş

Polimerler, fiziksel ve kimyasal özellikleri belli gereksinimler için uygun hale getirilebildiğinden sensör tasarımı veya çalışmalarında yaygın olarak kullanılır (Adhikari ve Majumdar, 2004). İletken (veya elektroaktif konjuge) polimerlerin elektronik, manyetik ve optik özellikleri nedeniyle bilimsel ve teknolojik önemleri yüksek olup (Retama ve ark., 2005) elektrokimyasal depolama sistemleri, telekomünikasyon, moleküler elektronik ve sensör tasarımı gibi uygulamalarda önemleri giderek de artmaktadır (Ahuja ve ark., 2007).

* Sorumlu Yazar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4504-, leventozcan@aku.edu.tr

Polipirol (PP), iletken polimerler arasında en yaygın kullanılanlardan biridir. Kimyasal ve mekanik olarak dayanıklı olması, farklı malzemeler üzerinde nötral ortamlarda bile elektrokimyasal olarak kolayca sentezlenebilmesi (Wang ve ark., 2001) ve biyolojik uyumluluğu gibi özellikler pek çok çalışmada polipirolün tercih nedenidir. Bu özelliklerinden dolayı sensör ve/veya biyosensör üretiminde kullanımı yaygındır. Polipirolün özelliklerinin ve kullanım alanlarının incelendiği çok sayıda çalışmada polipirolün redoks aktivitesi, iletkenliği, termal kararlılığı ve mekanik özelliği, iyon-değişim ve ayırma kapasitesi, gazlara, DNA molekülüne ve proteinlere karşı güçlü absorpsiyon özellikleri, katalitik aktivitesi ve korozyondan koruma gibi birçok özelliği incelenmiştir. Bu özelliklerin birçoğu hem sentez koşullarına hem de katkı maddesinin yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Ramanavičius ve ark., 2006).

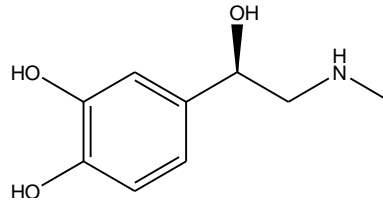
Polipirolün yapısı ve iletkenliği yükseltgenme basamağına bağlıdır. İndirgenmiş polipirol yalıtkan özelliğe sahiptir. PP zincirinin yükseltgenmesi moleküler yapıyı değiştirir ve polimere iletkenlik kazandırır. Nükleofilik gruplar varlığında PP süstitüe ürünler oluşur. Hidroksil iyonu gibi kuvvetli nükleofil gruplar, konjuge çift bağın yapısını bozan kinon boşluklarının oluşmasına neden olur. Polimerin bu şekilde tersinmez modifikasyonları aşırı yükseltgenme olarak tanımlanır (Mostany ve Scharifker, 1996). Polipirol pozitif gerilimlerde ve çok bazik ortamlarda aşırı yükseltgenir. Aşırı yükseltgenme, katılanmanın tersine polipirolün iletkenliğinin azalmasına ve nükleofilik saldırılara elverişli hale getirir (Majidi ve ark., 2006). Aşırı yükseltgenme mekanizması henüz tam olarak aydınlatılamamış olmasına rağmen pirol halkasının β karbonları üzerinde polimer zincirinin konjugasyonunu engelleyen karbonil gruplarının oluşumu, X-ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS) çalışmaları ile açıklanmıştır (Fernandez ve ark., 2005). Polipirolün aşırı yükseltgenme reaksiyonu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Polipirolün aşırı yükseltgenme reaksiyonu

Polimer zincirine karbonil, karboksilat gibi oksijen içeren grupların katılmasıyla katyonik yüklerin azalmasından dolayı aşırı yükseltgenmiş polipirol filmleri, metal iyonları ve ilaçlar gibi katyonik türler için seçicilik gösterir. Büyük çapta anyonların bulunduğu çözeltilerde hazırlanan aşırı yükseltgenmiş polipirol (AYPP), anyonların varlığında katyonik türlerin voltametrik tayini için de kullanılmıştır (Ersöz ve ark., 2002). AYPP, platin elektrot üzerine glikoz oksidaz tutturulmuş bir glikoz biyosensörü çalışmasında kullanılmış ve AYPP'nin anyonik redoks türlerinin girişimini azalttığı görülmüştür (Guerrero ve ark., 1998). Enzim hapsedilmiş AYPP elektrot, ürenin potansiyometrik tayininde kullanılmış ve kararlı cevaplar elde edilmiştir (Komaba ve ark., 1997). Elektrokimyasal olarak sentezlenen polipirol ve aşırı yükseltgenmiş polipirol elektrotlar, bazı anyon ve katyonların katı-faz ekstraksiyonunda ekstraksiyon kolonu olarak kullanılmıştır. Her iki elektrodun kullanılması ile gerçekleştirilen eşzamanlı elektrokimyasal anyon-katyon ekstraksiyonunda polipirolün anot ve aşırı yükseltgenmiş polipirolün de uygun bir katot olduğu bildirilmiştir (Şahin ve ark. 2008). Bunun yanında biyolojik önemi olan sülfonamidler (Özkorucuklu ve ark., 2011), sistein (Gu ve ark., 2016), dopamin (Koyun ve ark., 2017) ve tetrasiklin (Devkota ve ark., 2018) gibi bileşiklerin elektrokimyasal tayinlerinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Şekil 2'de kimyasal yapısı gösterilen ve adrenalın olarak ta bilinen epinefrin [1-(3,4-dihydroxyphenyl)-2-methyloaminoethanol]] kanda taşınan bir hormondur ve nörotransmitter madde olarak işlevi vardır. Kana salgılandığında vücudu acil bir duruma hazırlar (Lawson ve Gorman, 2008). Vücutta epinefrin varlığı kan basıncının düzenlenmesini, kalp hızı, lipoliz, bağışıklık sistemi ve glikojen metabolizmasını etkiler. Parkinson hastalığı olan hastalarda da epinefrin düzeyinin düşük olduğu bulunmuştur (Hsu ve Yang, 2008, Silva ve ark., 2009, Kalimuthu ve Abraham, 2009). Tıbbi uygulamada, acil sağlık durumlarında yaygın olarak kullanılan bir ilaçtır (Selbst ve Cronan, 2000). Epinefrin aynı zamanda anafilaktik şok, bronşiyal astım ve kalp krizi tedavilerinde ilaç olarak kullanılmaktadır (Bergmann ve Goldschmidt, 1968). Bu nedenle vücut sıvılarından ve ilaçlardaki epinefrin miktarının hassas ve güvenilir bir şekilde tayin edilmesi önemlidir. Bu kapsamda epinefrin tayinlerinde kullanıma yönelik olarak modifiye elektrot çalışmaları sürdürülmektedir. Bu çalışmalarda modifikasyon aracı olarak grafen (Lavanya ve ark., 2015), karbon kuantum noktaları (Canevari ve ark., 2016), Au-Pd nanokristal (Dong ve ark., 2018), karbon nanotüpler (Ayazi ve ark., 2018) vb. nano boyutlu yapıların tercih edildiği görülmektedir.



Şekil 2. Epinefrinin kimyasal yapısı

Düşük zemin akımı, kimyasal inertliği, düşük maliyeti, farklı uygulamalar için uygunluğundan dolayı karbon elektrotlar elektroanalitik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlardan biri olan kalem ucu elektrot (KUE) yüksek elektrokimyasal reaktivitesi, mekanik dayanıklılığı, düşük maliyet ve teknoloji gerektirmesi, modifikasyon, minyatürleştirme ve yenilenmesinin kolaylığı nedeniyle pek çok analitik uygulamada tercih edilmektedir. Diferansiyel puls ve kare dalga voltametri gibi oldukça hassas ve yüksek doğrulukta ölçümler yapan voltametrik bir yöntemle birleştiğinde çok çekici bir iz analiz yöntemi karşımıza çıkmaktadır (Gao ve ark., 2005). Kalem ucu elektrodun aktif yüzey alanı fazladır ve düşük derişimlerdeki analitlerin tayinlerinde kullanılabilir. Analit miktarı çok düşük olduğunda bu büyük bir önem kazanmaktadır (Vestergaard ve ark., 2005). Üstelik, camı karbon gibi ticari karbon kökenli elektrotların

yeniden kullanılması için tekrar tekrar temizlenmesi ve modifikasyon için pek çok işlemin gerektiği durumlarda, KUE tek kullanımlık olarak kullanılırsa analiz zamanını oldukça kısaltmaktadırlar (Wang ve ark., 2000). Bahsedilen üstünlükleri nedeniyle modifiye edilmiş KUE'nin kafein (Rezaei ve ark., 2014), kapsaisin (Wu ve ark., 2016), dopamin (Özcan ve ark., 2017) ve glukoz (Babu ve ark., 2018) gibi biyolojik önemi olan bileşiklerin tayininde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu çalışmada elektrokimyasal sentezin kolaylığı ve üstünlükleri ile nanofiber yapılı polipirolün avantajları göz önünde bulundurularak KUE yüzeyinde sentezlenmiş nanofiber yapılı aşırı yükseltgenmiş polipirolün epinefrin tayinlerinde kullanımı literatürde ilk defa incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Kimyasal Maddeler ve Elektrotlar

Epinefrin, perklorik asit, potasyum hidrojen fosfat Sigma-Aldrich (Steinheim, Almanya), potasyum dihidrojen fosfat, sodyum karbonat Merck (Darmstat, Almanya), lityum perklorat Lancaster (Morecambe, İngiltere) firmalarından sağlanmıştır. Pirol Aldrich firmasından temin edilmiş olup renksiz sıvı elde edilinceye kadar vakumda damıtılmış ve kullanılmadığında -18°C 'de saklanmıştır. Kullanılan diğer reaktifler analitik saflıkta olup herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan doğrudan kullanılmışlardır. Elektrokimyasal çalışmalarda, tampon ve stok çözeltilerin hazırlanmasında kullanılan deiyonize su, TKA marka (Smart2pure model) ultra saf su cihazından elde edilmiştir (direnc: $18,2\text{ M}\Omega$).

Çalışma elektrodu olarak kullanılan kurşun kalem uçları (0,7 mm çaplı, 2B, Faber Castell) kırtasiyelerden satın alınmıştır. Kalem uçlarını tutturmak için, uç kısmı metal olan mekanik kalemelerden hazırlanan düzenek kullanılmıştır. Referans elektrot olarak Ag/AgCl (3,0 M KCl), karşıt elektrot olarak $0,25 \times 10 \times 10$ mm boyutunda bir Pt levha (Aldrich % 99,9) kullanılmıştır.

2.1.2. Cihazlar

Elektrokimyasal ölçümler CompactStat model (Ivium) potansiyostat-galvanostat cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bütün elektroanalitik ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır. pH ölçümlerinde pH-İyon-metre (Thermo), bazı çözeltilerin hazırlanmasında ve elektrotların temizlenmesinde ise ultrasonik banyo (Bandelin Sonorex) kullanılmıştır. Düzenli karıştırma işlemleri ısıtıcılı manyetik karıştırıcı (MR3001, IKA) ile gerçekleştirilmiştir.

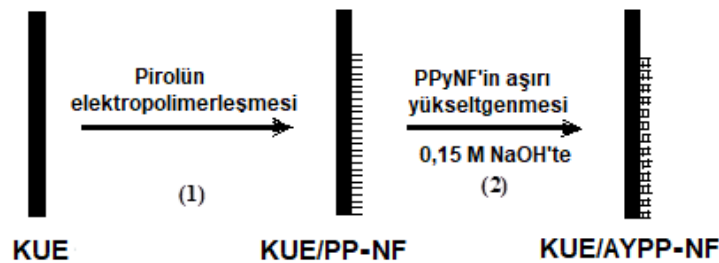
2.2. Metot

2.2.1. Nanofiber Yapılı Aşırı Yükseltgenmiş Polipirol ile Modifiye Edilmiş Elektrotların Hazırlanması

Modifiye elektrotlar iki basamakta hazırlanmıştır. Bu basamaklar Şekil 3'te şematik olarak gösterilmektedir. 1) KUE yüzeyinde nanofiber yapılı polipirolün (KUE/PP-NF) elektrokimyasal sentezi. 2) Nanofiber yapılı polipirolün aşırı yükseltgenmesi (KUE/AYPP-NF).

KUE/PP-NF elektrotlar $0,10\text{ M LiClO}_4 + 0,10\text{ M Na}_2\text{CO}_3$ ve $0,10\text{ M}$ pirol içeren sulu çözeltide $0,00$ ile $0,80\text{ V}$ arasında (100 mV/s) 10 döngülü elektropolimerleşme ile hazırlanmıştır. Elde edilen KUE/PP-NF elektrotlar deiyonize su ile yıkanmış ve karbonat iyonlarının karbondioksit olarak uzaklaşabilmesi için $\%10$ 'luk HClO_4 'de 24 saat bekletilmiştir (Tian ve ark., 2004).

Hazırlanan KUE/PP-NF'leri aşırı yükseltgemek için $0,15\text{ M NaOH}$ çözeltisinde $0,00\text{ V}$ ile $0,90\text{ V}$ (100 mV/s) arası 18 döngü ve ardından aynı ortamda ve aynı gerilim aralığında 1 kez DPV ölçümü alınmıştır. Bu işlemler sonucu akım değeri $5\text{ }\mu\text{A}$ değerine kadar düşmektedir. Bu aşırı yükseltgeme işlemine tabi tutulan elektrotlar en az 15 dakika deiyonize suda bekletildikten sonra kullanılmıştır.



Şekil 3. KUE/AYPP-NF elektrotların hazırlanma şeması

Karşılaştırma çalışmalarında kullanmak için aynı işlem sırası takip edilerek $0,10\text{ M LiClO}_4$ ve $0,10\text{ M}$ pirol (Na_2CO_3 içermeyen) içeren çözeltiden nano fiber yapıda olmayan polipirol elektrotlar (KUE/AYPP) hazırlanmıştır.

2.2.2. Elektroanalitik Ölçümler

Dönüşümlü voltametri (DV) ve diferansiyel puls voltametri (DPV) ölçümleri üç elektrotlu hücrede gerçekleştirilmiştir. Çalışma elektrotlarının $0,80\text{ cm}$ 'lik kısmı çözelti içine daldırılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çözeltideki çözünmüş oksijen ölçümlerden önce uzaklaştırılmıştır. Diferansiyel puls voltamogramları CompactStat model (Ivium) potansiyostat-galvanostat cihazı kullanılarak elde

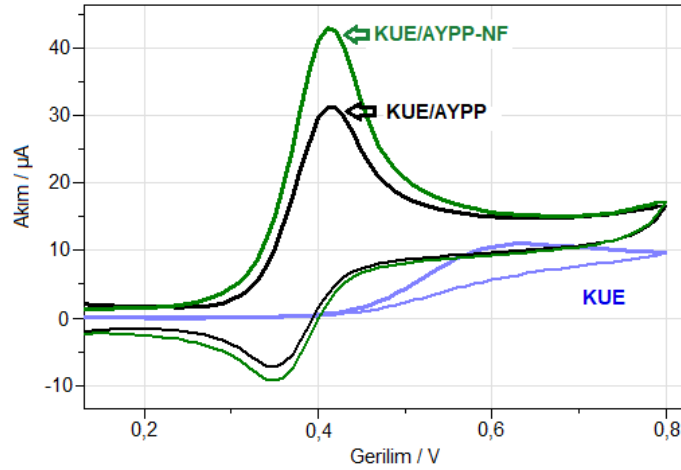
edilmiş olup uygulanan parametreler şunlardır: puls süresi 50 ms, puls genliği (amplitude) 50 mV, tarama hızı 20 mV/s. Grafiklerde belirtilen her bir akım değeri 5 ölçümün ortalamasıdır. DPV ölçümlerinden elde edilen akımlar Ivium Soft yazılımında "baseline" düzeltilmesi yapılarak elde edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Polipirol Elektrotların Performansına Yüzeysel Morfolojisinin Etkisi

Elektropolimerleşme ile sentezlenen polipirolün morfolojisi kullanılan karşıt iyon, çözücüye, polimerizasyon ortamı vb. parametrelere bağlıdır. Polipirol filmlerinin yüzeysel morfolojisi daha önceki çalışmalarımızda tespit edilmiş ve incelenmiştir (Özcan ve ark., 2008). Bu çalışmada karşılaştırma amacıyla KUE yüzeyinde elde edilen PP'nin morfolojisi karnabahar yapısına benzemektedir. Karnabahar yapısındaki PP destek elektrolit olarak sadece LiClO₄ içeren sulu çözeltide hazırlanmıştır. Diğer yandan LiClO₄ ile beraber Na₂CO₃'ün de bulunduğu sulu çözeltide elde edilen polipirol (PP-NF) 50 ile 80 nm arası çaplarına sahip nanofiber yapıdadır (Özcan ve ark., 2008). Bu yapı sayesinde etkin yüzeysel alanı artmaktadır.

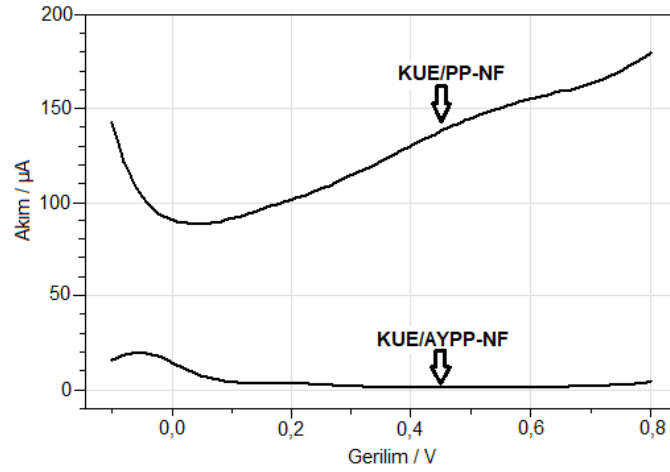
Nanofiber yapının yüzeysel alanını artırması epinefrin tayininde de etkisini göstermektedir. Şekil 4'te, pH'sı 4 olan 0,10 M derişimindeki fosfat tamponunda (FT) 200 µM epinefrin varlığında KUE, KUE/AYPP ve KUE/AYPP-NF ile elde edilen dönüşümlü voltamogramlar görülmektedir. Şekil 4'teki voltamogramlardan görüldüğü gibi epinefrin yükseltgenmesine ait pik akımı değerleri KUE yüzeyine modifiye edilmiş aşırı yükseltgenmiş polipirol ile kayda değer bir şekilde artmaktadır. Ayrıca nanofiber yapının etkisiyle elde edilen akım değeri nanofiber olmayan yapıya göre daha da artmaktadır. Bu nedenle çalışmada, nanofiber yapıya sahip aşırı yükseltgenmiş polipirol modifiye KUE elektrot tercih edilmiştir. Aynı zamanda yükseltgenmenin gerçekleştiği gerilim değerinin KUE'ya göre 0,20 V daha düşük değerlere kayması elektrokatalitik bir etkinin göstergesidir. Li ve Lin (2007) aşırı yükseltgenmiş polipirolün epinefrin ve ürik asit gibi moleküllerin elektrokimyasal tayinine yönelik iyileştirici etkisini göstermiş ve yapının altın nanoyapılar ile birlikte kullanılmasıyla performansta bir miktar daha artma olduğunu göstermişlerdir. Ancak aşırı yükseltgenmiş polipirolün kendisinin nanofiber yapıya sahip eldesinin epinefrin tayinlerinde performansı daha da iyileştirdiğini gösteren bir çalışma şu ana kadar gerçekleştirilmemiştir.



Şekil 4. KUE, KUE/AYPP ve KUE/AYPP-NF elektrotlarının 200 µM epinefrin içeren FT (pH 4,0) içindeki dönüşümlü voltamogramları.

3.2. Aşırı Yükseltgenmenin Polipirol Modifiye Elektrotlara Etkisi

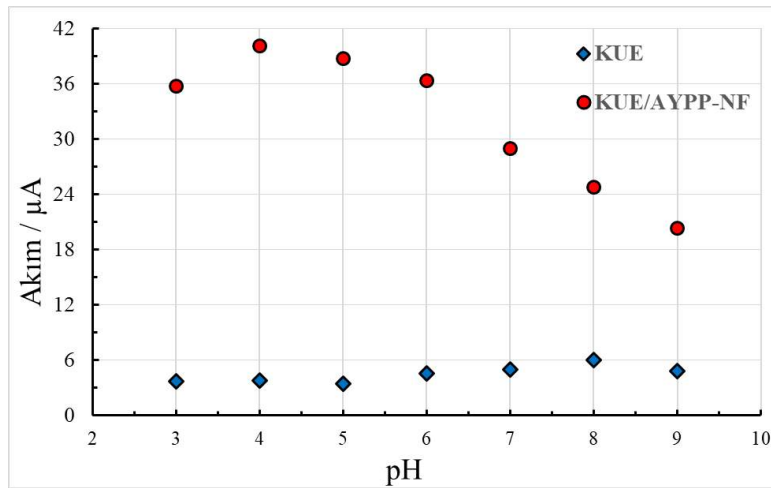
Epinefrin tayinlerinde kullanılan PP aşırı yükseltgenme işlemine tabi tutulmaktadır. Çünkü elektroaktif özellikteki polipirol kendine ait geniş bir indirgenme ve yükseltgenme pikine sahiptir. Dolayısıyla aşırı yükseltgenme işlemine tabi tutulmazsa analit molekülünün sinyali ile girişim yapmakta veya analit sinyalini tamamen örtmektedir. Bu nedenle aşırı yükseltgenerek elektroaktifliklerinin mümkün olan en alt seviyeye düşürülmesi gerekir. Bu işlem yapıldığında elde edilen aşırı yükseltgenmiş PP elektrokimyasal sensör uygulamalarında düşük cevapların elde edilmesinde kullanılabilir. Şekil 5'te KUE/PP-NF ve KUE/AYPP-NF elektrotların pH'sı 4,0 olan FT'de DPV ile elde edilen voltamogramları görülmektedir. KUE/PP-NF'in kendisine ait elektrokimyasal cevabı oldukça yüksek iken KUE/AYPP-NF kullanıldığında oldukça düşük seviyelere inmektedir.



Şekil 5. KUE/PP-NF ve KUE/AYPP-NF elektrotların pH 4,0 olan FT çözeltisindeki DP voltamogramları.

3.3. Çözelti pH'sının Epinefrin Tayinlerine Etkisi

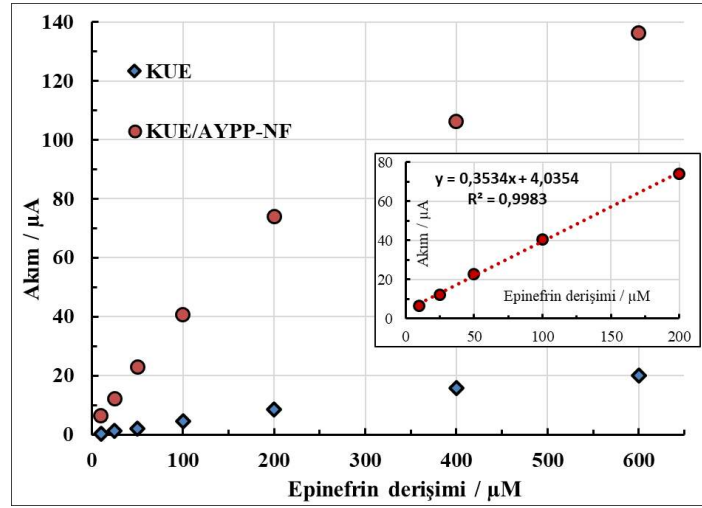
KUE ve KUE/AYPP-NF elektrotlar epinefrin analizlerinde kullanılırken önemli parametrelerden biri ortam pH'ıdır. Bu nedenle öncelikle farklı pH değerlerindeki FT içinde 100 µM epinefrin varlığında DPV tekniği ile epinefrine ait yükseltgenme pik akımı değerleri belirlenmiştir. Şekil 6'da pH değişimi ile akım arasındaki ilişki görülmektedir. KUE/AYPP-NF kullanıldığında en yüksek pik akımına pH 4,0 değerindeki FT çözeltisinde ulaşılmıştır. Bununla beraber KUE ile ise pH 8,0 değeri en yüksek pik akımının elde edildiği değerdir. KUE yüzeyindeki AYPP yapının epinefrin ile etkileşimi değiştirdiği ve elektrokimyasal performansı artırdığı bu verilerden anlaşılmaktadır. Polipirolün aşırı yükseltgenmesi ile polimer zincirindeki katyonik yükler azaldığından yapı katyonik türlere karşı seçici hale gelmektedir (Ersöz ve ark., 2002). Epinefrinin pKa değeri 8,88 olup, asidik ortamda protonlanarak pozitif yüklü hale gelmekte (Li ve Lin, 2007) ve protonlanmasının artmasıyla iki yapı arasındaki etkileşim de artmaktadır. Deneysel sonuçlar bu etkileşimin pH 4,0 değerinde en yüksek olduğunu göstermektedir. Koyun ve ark. (2017) epinefrinin pKa değere çok yakın olan dopaminin (pKa 8,71) aşırı yükseltgenmiş nanoyapılı polipirol ile tayininde en yüksek akım değerine pH 4,0'te ulaşılmıştır. Buna benzer bir etkileşim KUE'ta olmadığından, KUE kullanıldığında epinefrin için en yüksek akım farklı bir pH değerinde (pH 8) elde edilmiştir. Ayrıca pH 4,0 değeri için KUE/AYPP-NF ile elde edilen yükseltgenme pik akımı değeri KUE ile elde edilenden yaklaşık 10 kat fazladır. Bu nedenle kalibrasyon doğrusu çalışmaları pH 4,0 FT içinde gerçekleştirilmiştir.



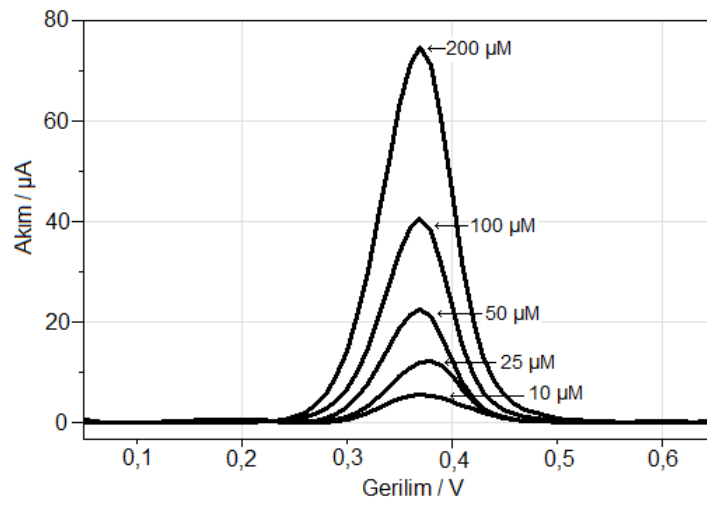
Şekil 6. Farklı pH'lardaki FT içinde 100 µM epinefrin için DPV ile elde edilen yükseltgenme pik akımları.

3.4. Epinefrin Derişimi ve Yükseltgenme Akımı Arasındaki İlişki

KUE/AYPP-NF elektrotlar kullanılarak epinefrin derişimi ile epinefrin yükseltgenme pik akımının değişimi diferansiyel puls voltametri (DPV) tekniği ile çalışılmıştır. Şekil 7'de KUE/AYPP-NF elektrotlar ile farklı derişimlerde epinefrin içeren FT (pH 4,0) içinde elde edilen pik akımı değerlerinin grafiği görülmektedir. Şekil 7'den görüldüğü gibi pik akımı ile epinefrin derişimi arasında 10 µM ile 200 µM aralığında 0,998 korelasyon katsayısı ile doğrusallık vardır. Aynı zamanda KUE ile kıyaslandığında yapılan modifikasyonun hassasiyette önemli derecede artış sağladığı da görülmektedir. Tayin sınırı (LOD) 2,2 µM olarak hesaplanmıştır (S/N=3). Şekil 8'de ise KUE/AYPP-NF elektrotlar kullanılarak epinefrin için doğrusal cevabın elde edildiği 10 µM ile 200 µM aralığında elde edilen diferansiyel puls voltamogramları görülmektedir.



Şekil 7. KUE ve KUE/AYPP-NF kullanılarak FT içinde (pH 4,0) DPV ile farklı derişimlerdeki epinefrine ait yükseltgenme akımları.



Şekil 8. KUE/AYPP-NF ile pH 4,0 FT çözeltisinde farklı derişimlerdeki epinefrin için elde edilen DP voltamogramları.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, elektrokimyasal olarak nanofiber yapıları polipirol sentezlenerek sonrasında aşırı yükseltgenmiş ve epinefrin (adrenalin) tayinlerinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmaların tamamında çalışma elektrodu olarak ucuz, kolay bulunabilen ve elektropolimerizasyona uygun olan kalem ucu elektrot (KUE) kullanılmıştır. Epinefrinin elektrokimyasal tayinlerine yönelik çalışmalar DV ve DPV teknikleri kullanılarak fosfat tampon içerisinde gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmelerde epinefrinin yükseltgenme pik akımı değeri dikkate alınmıştır.

Epinefrin tayinlerinde elektrokimyasal olarak KUE yüzeyinde sentezlenen aşırı yükseltgenmiş nanofiber yapıları polipirol (KUE/AYPP-NF) kullanılmıştır. Nanofiber yapıda olmayan aşırı yükseltgenmiş polipirol elektrottan daha yüksek performansla sahip olduğu gösterilmiştir. KUE/AYPP-NF kullanılarak epinefrin tayinlerine pH'nın etkisi DPV tekniği ile incelenmiş ve KUE/AYPP-NF için en yüksek yükseltgenme akımına pH 4,0 değerinde ulaşılmıştır. DPV tekniği kullanılarak KUE/AYPP-NF ile 10 µM ile 200 µM aralığında epinefrin yükseltgenme akımına karşı doğrusal bir cevap elde edilmiştir. Tayin sınırı (LOD) ise 2,2 µM olarak bulunmuştur (S/N=3). KUE/AYPP-NF elektrot ile elde edilen analitik sonuçların nanoyapılar veya nanoparçacıklar ile modifiye edilmiş elektrotlar ile karşılaştırması Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, bu çalışmada kullanılan modifiye elektrodun performansının çoğu karbon kökenli nanoyapılarla modifiye edilmiş elektrotlarınkiler ile yarışabilecek düzeyde olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar, KUE yüzeyinde elektrokimyasal olarak sentezlenen aşırı yükseltgenmiş nanofiber yapıları polipirolün epinefrin tayinlerinde etkili ve hassas bir elektrokimyasal sensör olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Kullanılan yöntem basit ve malzemelerin maliyeti düşüktür. Bu yönüyle ticari açıdan önemli bir etken olan düşük maliyetli tayinlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır.

Ayrıca yapılan modifikasyonların küçük boyutlara indirgenmiş analiz sistemlerinde uygulanması mümkündür. Bunun haricinde yüksek performanslı sıvı kromatografi veya akış enjeksiyon analiz sistemlerinde kullanılan elektrokimyasal dedektörlerin hassasiyetini artırmak amacıyla da kullanılabilir.

Tablo 1. KUE/AYPP-NF elektrodunun epinefrin tayinindeki analitik performansının karşılaştırılması

Elektrot	Doğrusal aralık (μM)	Tayin sınırı (LOD) (μM)	Kaynak
CPE/ZnFe ₂ O ₄ NPs	5–100	0,7	(Tavakkoli ve ark. 2018)
CPE/DH-CN	5-20	1,0	(Mazloum-Ardakani ve ark. 2012)
SPE/Cu	10-600	2,5	Soofiabadi ve ark. 2017)
SSE/SWCNT	2-100	2,0	(Valentini ve ark. 2007)
PSRA/MCNTPE	2,0–64	1,0	(Manjunatha ve ark. 2018)
KUE/AYPP-NF	10-200	2,2	Bu çalışma

CPE/ZnFe₂O₄NPs: Çinko ferrit nanoparçacıklarla modifiye karbon pasta elektrot

CPE/DH-CN: Karbon nanoparçacık ve hidrokinon türevi modifiye karbon pasta elektrot

SPE/Cu: Cu(II) nanokompleks modifiye grafit screen printed elektrot

SSE/SWCNT: Tek duvarlı karbon nanotüp modifiye paslanmaz çelik elektrot

PSRA/MCNTPE: Aşırı yükseltgenmiş poli(Solid Red A) filmi modifiye karbon nanotüp pasta elektrot

KUE/AYPP-NF: Aşırı yükseltgenmiş nanofiber yapılı polipirrol modifiye kalem ucu elektrot

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için verdiği mali destekten dolayı (Proje No: 10.FENED.15) Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon birimine teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Adhikari, B. & Majumdar, S. (2004). Polymer in sensor applications. *Progress in Polymer Science*, 29, 699-766.
- Ahuja, T., Mir, I.A., Kumar, D. & Rajesh (2007). Biomolecular immobilization on conducting polymers for biosensing applications. *Biomaterials*, 28, 791-805.
- Ayazi, Z., Izadyar, S. & Habibi, B. (2018). Ionic liquid/single-walled carbon nanotubes composite film modified carbon-ceramic electrode as an electrochemical sensor for the simultaneous determination of epinephrine and uric acid. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 65(12), 1510-1520.
- Babu, K.J., Sheet, S., Lee, Y.S. & Kumar, G.G. (2018). Three-Dimensional Dendrite Cu-Co/Reduced Graphene Oxide Architectures on a Disposable Pencil Graphite Electrode as an Electrochemical Sensor for Nonenzymatic Glucose Detection. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(2), 1909-1918.
- Bergmann, E.D. & Goldschmidt, Z. (1968). Some epinephrine analogs. *Journal of Medicinal Chemistry* 11, 1121-1125.
- Canevari, T.C., Thiago, C., Nakamura, M., Cincotto, F.H., de Melo, F.M. & Toma, H.E. (2016). High performance electrochemical sensors for dopamine and epinephrine using nanocrystalline carbon quantum dots obtained under controlled chronoamperometric conditions. *Electrochimica Acta*, 209, 464-470.
- Devkota, L., Nguyen, L.T., Vu, T.T., & Piro, B. (2018). Electrochemical determination of tetracycline using AuNP-coated molecularly imprinted overoxidized polypyrrole sensing interface. *Electrochimica Acta*, 270, 535-542.
- Dong, W.H., Ren, Y.P., Bai, Z.X., Jiao, J., Chen, Y., Han, B.K. & Chen, Q. (2018). Synthesis of tetrahedral Au-Pd core-shell nanocrystals and reduction of graphene oxide for the electrochemical detection of epinephrine. *Journal of Colloid and Interface Science*, 512, 812-818.
- Ersöz, A., Gavalas, V.G. & Bachas, L.G. (2002). Potentiometric behavior of electrodes based on overoxidized polypyrrole films. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 372, 7-8.
- Fernandez, I., Trueba, M., Nunez, C.A. & Rieumont, J. (2005). Some features of the overoxidation of polypyrrole synthesized on austenitic stainless steel electrodes in aqueous nitrate solutions. *Surface and Coatings Technology*, 191, 134-139.
- Gao, W., Song, J. & Wu, N. (2005). Voltammetric behavior and square-wave voltammetric determination of trepibutone at a pencil graphite electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 576, 1-7.
- Gu, J.W. Dai, H.X., Kong, Y., Tao, Y.X., Chu, H.X. & Tong, Z.F. (2016). Chiral electrochemical recognition of cysteine enantiomers with molecularly imprinted overoxidized polypyrrole-Au nanoparticles. *Synthetic Metals*, 222, 137-143. Part: A Special Issue.
- Guerrieri, A., De Benedetto, G.E., Palmisano, F. & Zamboni, P.G. (1998). Electrosynthesized non-conducting polymers as permselective membranes in amperometric enzyme electrodes a glucose biosensor based on a co-crosslinked glucose oxidase/overoxidized polypyrrole bilayer. *Biosensors and Bioelectronics*, 13, 103-112.
- Hsu, C.W. & Yang, M.C. (2008). Electrochemical epinephrine sensor using artificial receptor synthesized by sol-gel process. *Sensors and Actuators B*, 134, 680-686.
- Kalimuthu, P. & Abraham, S. (2009). Simultaneous determination of epinephrine, uric acid and xanthine in the presence of ascorbic acid using an ultrathin polymer film of 5-amino-1,3,4-thiadiazole-2-thiol modified electrode. *Analytica Chimica Acta*, 647, 97-103.
- Komaba, S., Seyama, M., Momma, T. & Osaka, T. (1997). Potentiometric biosensor for urea based on electropolymerized electroinactive polypyrrole. *Electrochimica Acta*, 42, 383-388.
- Koyun, O., Gursu, H., Gorduk, S. & Sahin, Y. (2017). Highly Sensitive Electrochemical Determination of Dopamine with an Overoxidized Polypyrrole Nanofiber Pencil Graphite Electrode. *International Journal of Electrochemical Science*, 12(7), 6428-6444.
- Lawson, A.G. & Gorman, R.I. (2008). Research Progress on Epinephrine, Nova Science Pub. Inc.

- Lavanya, N., Fazio, E., Neri, F., Bonavita, A., Leonardi, S.G., Neri, G. & Sekar, C. (2015). Simultaneous electrochemical determination of epinephrine and uric acid in the presence of ascorbic acid using SnO₂/graphene nanocomposite modified glassy carbon electrode. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 221, 1412-1422.
- Li, J. & Lin, X.-Q. (2007). Electrodeposition of gold nanocluster on overoxidized polypyrrole film modified glassy carbon electrode and its application for the simultaneous determination of epinephrine and uric acid under coexistence of ascorbic acid. *Analytica Chimica Acta*, 596, 222-230.
- Majidi, M.R., Jouyban A. & Asadpour-Zeynali K. (2006). Voltammetric behaviour and determination of ionized in pharmaceuticals by using overoxidized polypyrrole glassy carbon modified electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 589, 32-37.
- Manjunathaa, J.G., Deramana, M., Basria, N.H. & Taliba, I.A. (2018). Fabrication of poly (Solid Red A) modified carbon nano tube paste electrode and its application for simultaneous determination of epinephrine, uric acid and ascorbic acid. *Arabian Journal of Chemistry*, 11, 149-158.
- Mazloum-Ardakani, M., Rajabzadeh, N., Dehghani-Firouzabadi, A., Sheikh-Mohseni, M.A., Benvidi, A., Naeimi, H., Akbari, M. & Karshenas, A. (2012). Carbon nanoparticles and a new derivative of hydroquinone for modification of carbon paste electrode for simultaneous determination of epinephrine and acetaminophen. *Analytical Methods*, 4, 2127-2133.
- Mostany, J. & Scharifker, B.R. (1996). Impedance spectroscopy of undoped, doped and overoxidized polypyrrole films. *Synthetic Metals*, 87, 179-185.
- Özcan, L., Şahin, Y. ve Türk, H. (2008). Non-enzymatic glucose biosensor based on overoxidized polypyrrole nanofiber electrode modified with cobalt(II) phthalocyanine tetrasulfonate. *Biosensors and Bioelectronics*, 24, 512-517.
- Özcan, A., İlkbas, S. & Özcan, A.A. (2017). Development of a disposable and low-cost electrochemical sensor for dopamine detection based on poly(pyrrole-3-carboxylic acid)-modified electrochemically over-oxidized pencil graphite electrode. *Talanta*, 165, 489-495.
- Özkorucuklu, S. P., Özcan, L., Yucel Sahin, Y. & Alsancak, G. (2011). Electroanalytical determination of some sulfonamides on overoxidized polypyrrole electrodes. *Australian Journal of Chemistry*, 64, 965-972.
- Ramanavičius, A., Ramanavičiene, A. & Malinauskas, A. (2006). Electrochemical sensors based on conducting polymer-polypyrrole. *Electrochimica Acta*, 51, 6025-6037.
- Rezaei, B., Boroujeni, M.K.L. & Ensafi, A.A. (2014). Caffeine electrochemical sensor using imprinted film as recognition element based on polypyrrole, sol-gel, and gold nanoparticles hybrid nanocomposite modified pencil graphite electrode. *Biosensors and Bioelectronics*, 60, 77-83.
- Retama, J.R., Mecerreyes, D., Lopez-Ruiz, B. & Cabarcos, E.L. (2005). Synthesis and characterization of semiconducting polypyrrole-polyacrylamide microparticles with GOx for biosensor applications. *Colloids and Surfaces A*, 270-271, 239-244.
- Silva, L.I.B., Ferreira, F.D.P., Freitas, A.C., Rocha-Santos, T.A.P. & Duarte, A.C. (2009). Optical fiber biosensor coupled to chromatographic separation for screening of dopamine, norepinephrine and epinephrine in human urine and plasma. *Talanta*, 80, 853-857.
- Şahin, Y., Ercan, B. & Şahin, M. (2008). In situ electrochemical solid-phase extraction of anions and cations using polypyrrole and overoxidized sulfonated polypyrrole. *Talanta*, 75, 369-375.
- Selbst, S.M. & Cronan K., (2000). Pediatric Emergency Medicine Secrets, Elsevier Health Sciences.
- Soofiabadi, F., Amiri, A. & Jahani, S. (2017). Application of Cu(II) nanocomplex modified graphite screen printed electrode to improve the sensitivity and selectivity for epinephrine detection. *Analytical and Bioanalytical Electrochemistry*, 9(3), 340-350.
- Tavakkoli, N., Soltani, N., Shahdost-fard, F., Ramezani, M., Salavati, H. & Jalali, M.R. (2018). Simultaneous voltammetric sensing of acetaminophen, epinephrine and melatonin using a carbon paste electrode modified with zinc ferrite nanoparticles. *Microchimica Acta*, 185, 479(11 sayfa).
- Tian, Y., Wang, J., Wang, Z. & Wang, S. (2004). Electroreduction of nitrite at an electrode modified with polypyrrole nanowires. *Synthetic Metals*, 143, 309-313.
- Valentini, F., Paleschi, G., Lopez Morales, E., Orlanducci, S., Tamburri, E. & Terranova, M.L. (2007). Functionalized single-walled carbon nanotubes modified microsensors for the selective response of epinephrine in the presence of ascorbic acid. *Electroanalysis* 19, 859-869.
- Vestergaard, M., Kerman, K. & Tamiya, E. (2005). An electrochemical approach for detecting copper-chelating properties of flavonoids using disposable pencil graphite electrodes: Possible implications in copper-mediated illnesses. *Analytica Chimica Acta*, 538, 273-281.
- Wang, J., Kawde A.-N. & Sahlin, E. (2000). Renewable pencil electrodes for highly sensitive stripping potentiometric measurements of DNA and RNA. *Analyst*, 125, 5-7.
- Wang, L.X., Li, X.G. & Yang, Y.L. (2001). Preparation, properties and applications of polypyrroles. *Reactive and Functional Polymers*, 47, 125-139.
- Wu, S.X., Zeng, J.M., Xie, H. & Ng, S.H. (2016). Capsaicin determination and chili sauce discrimination using low-cost and portable electrochemical sensors based on all graphite pencil electrodes. *Analytical Methods*, 8(39), 7025-7029.



Elazığ İli Kiraz Üretim Alanlarında Kiraz Sineği (*Rhagoletis Cerasi* L.) (Diptera:Tephritidae)'nin Doğaya Çıkış Zamanı, Populasyon Değişimi ve Bulaşıklık Oranını Belirlenmesi

Mehmet Kaplan¹

¹ Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2495-8075)

(İlk Geliş Tarihi 19 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 28 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.541897)

ATIF/REFERENCE: Kaplan, M. (2019). Elazığ İli Kiraz Üretim Alanlarında Kiraz Sineği (*Rhagoletis Cerasi* L.) (Diptera: Tephritidae)'nin Yayılışı, Doğaya Çıkış Zamanı, Popülasyon Gelişimi ve Bulaşıklık Oranını Belirlenmesi *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 363-366.

Öz

Bu çalışma, Elazığ ili Kiraz bahçelerinde zarar yapan Kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) (Diptera: Tephritidae)'nin doğaya çıkış zamanı ve populasyon gelişiminin belirlenmesi amacıyla 2016-2017 yılları arasında yürütülmüştür. Çalışmalar üretim mevsimi boyunca her birinde en az 50 adet Napolyon (Ziraat 900) kiraz çeşidi kiraz ağacı bulunan bahçelerde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda zararlının takibinde görsel sarı renkli yapışkan çekici tuzaklar kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda kiraz sineğinin çalışmanın yapıldığı tüm bahçelerde yayılış gösterdiği, erginlerinin doğada Mayıs ayının ilk haftasında meyveler ben düşme iken tuzaklarda ilk görüldüğü ve meyveler saman sarısı dönemde iken en yüksek yoğunluk oluşturduğu tespit edilmiştir. Populasyon gelişiminin izlendiği bahçelerde zararlının populasyon yoğunluğunun düşük olduğu belirlenmiştir. Zararlının populasyon gelişiminin iki yılda da yaklaşık 21-42 gün arasında devam ettiği ve populasyonun bitiş tarihinin ise en son haziranın ayının üçüncü haftasına denk geldiği görülmüştür. Bunun yanı sıra hasat zamanında bahçelerde kontrol edilen 1000 adet meyvede Bulaşma (Kurtlu meyve) oranı %0.2 ve %0.4 arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elazığ, kiraz, kiraz sineği, görsel yapışkan tuzaklar

The Determination of Emergence Period, Population Fluctuation, Infestation of Cherry Fruit Fly (*Rhagoletis cerasi* L.) (Diptera: Tephritidae) in Cherry Orchards of Elazığ Province, Turkey

Abstract

This study was carried out to determine emergence period and population fluctuation of cherry fruit fly (*Rhagoletis cerasi* L.) (Diptera: Tephritidae) in cherry orchards of Elazığ province of Turkey in 2016-2017. Studies were conducted in the years 2013 and 2014 through vegetation period in the orchards which have at least 50 Napolyon (Ziraat 900) variety of cherry trees in each. In the studies, visual yellow colored adhesive attractive traps were used in the follow-up of the pest. As a result of studies, cherry fly in all orchards where cherry production is distributed, it was found out that the first adults were caught on the traps generally in the first week of May when the colour change begin on the cherry fruit that it was yellow in colour. It was determined that the population of the pest is low in the gardens where the population development is observed. In both years, the population development of the pest continued for about 21-42 days and the end date of the population coincided with the third week of the last month of June. In addition, in 1000 harvested fruits at harvest time, the rate of contamination (wormwood) varies between 0.2% and 0.4%.

Key Words: Elazığ province, cherry, *Rhagoletis cerasi* L., visual traps

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2495-8075, mehmetkaplan1971@hotmail.com.tr

1. Giriş

Kiraz, lezzetli bir meyve olmasının yanında, besin değeri çok yüksek olan bir meyvedir. Ayrıca, gerek üretim ve gerekse pazarlama aşamasında yoğun işgücünün kullanımı ile geniş istihdam olanakları yaratması, dış satımda önemli döviz getirisi nedeniyle ülke ekonomisi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Anadolu coğrafyası birçok meyve türünde olduğu gibi, bahçe kültürü içerisinde bulunan kirazda (*Prunus avium* L.) da en eski kültür alanlarından biridir (Ülkümen, 1973). Kirazın anavatanı Güney Kafkasya, Hazar Denizi ve Kuzeydoğu Anadolu arasındaki bölge olarak bilinmektedir. Bu gen merkezlerinden doğuya ve batıya yayılarak dünya üzerinde geniş bir alanı kaplamıştır (Özbek, 1978). Buna göre ülkemiz kirazın orijin merkezlerinden biridir.

Dünyada kiraz üretiminde ve ihracatında önemli yere sahip olan Türkiye'nin, kiraz ihracatı 1985 yılından sonra başlamıştır. 2018 yılında 639.564 ton kiraz üretimiyle dünya birincisidir. Ülkemiz, 2018 yılında miktar olarak yaklaşık 70 bin ton, değer olarak ise 162 milyon dolarlık ihracat gerçekleştirmiştir. Kiraz ihracatında Avrupa Birliği ülkeleri önemli yer tutmakta olup, 15'ten fazla ülkeye kiraz ihraç edilmektedir (Anonim, 2018). Elazığ ilinde 2018 yılında 4386 ton, kiraz üretimi yapılmıştır (Anonim, 2018). Bölgede kiraz üretimi miktarı nispeten düşük gibi görünse de bölgede yetiştiriciliği yapılan kirazın erkenci olması ve dolayısı ile ekonomik getirisinin yüksek olması kirazı bölge için önemli kılmaktadır.

Çalışmanın yürütüldüğü Elazığ ili kiraz bahçelerinde üretimi sınırlayan önemli etkenlerden birisi bitki koruma sorunlarıdır. Nitekim yapılan araştırmalar ve illerdeki ilgili tarım kuruluşlardan edinilen bilgiler sonucu, kiraz zararlılarının bölgede önemli oranda zarara sebep olduğu pestisit kullanımının giderek arttığı belirlenmiştir. Bu zararlı böcek türleri içerisinde Diptera takımının Tephritidae familyasında yer alan kiraz sineğinin [*Rhagoletis cerasi* L. (Diptera: Tephritidae)]'nin kiraz bahçelerinde ekonomik yönden önemli oranda zarara neden olduğu gözlemlenmiştir.

Kiraz üretiminde verim ve kaliteyi olumsuz etkileyen birçok faktörler arasında bitki koruma sorunları en önemlisidir. Böcek zararlılardan Kiraz sineği hem diğer kiraz üretilen ülkelerde hem de ülkemizde kiraz meyvesinin en önemli zararlısıdır. Zararlının larvası meyvelerin etli kısımlarında beslenerek, bazı meyvelerin zamanından önce dökümüne ve önemli ekonomik kayıplara neden olurlar. Popülasyonunun yoğun olduğu yer ve yıllarda, zararın %90'ı geçtiği bildirilmektedir (Nizamloğlu, 1954; Fimiani v.dğr.1981; Robinson ve Hooper, 1989; Aktürk, 1997). Hasat edilen kurtlu meyvelerin kalitesi düşük olduğundan pazar değeri de düşer. Bu böceğin zararı, çoğunlukla orta ve özellikle de haziranda olgunlaşan geçici çeşitlerde görülür. Salgın yıllarında zarar oranı %80'e kadar çıkabilir. İhracatta zarar toleransı sıfırdır (Anonim 2011).

Kiraz sineğinin Avrupa'da da kiraz üretiminin en önemli zararlısı olduğu (Daniel ve Grunder, 2012), insektisit kullanımının olmadığı bahçelerde bulaşıklığın %100'lere ulaştığını bildirmişlerdir. (Fimiani, 1983), zararlının pazarlamadaki bulaşıklık toleransının en fazla %2 kadar oldukça düşük olmasından dolayı üreticileri çok zor durumda bıraktığı, kiraz sineğinin bulaşık olduğu meyvelerin ayırt edilemediği için bu tolerans seviyesi aşılsa meyvelerin tamamının bozulacağı ifade edilmektedir (Boller, 1972).

Rhagoletis cerasi'nin, kirazların ana zararlısı olduğu ve ülkemizde kiraz yetiştiriciliği yapılan hemen hemen her yerde var olduğu belirtilmiştir (Kovancı ve Kovancı, 2000). Ayrıca meyveye direkt olarak zarar verdiği ve bu yüzden Türkiye ve Avrupa'daki kiraz ve vişnelerde en önemli zararlı olduğu, larvanın meyve içerisinde beslendiği ve ciddi ekonomik kayıplara yol açtığı, ihracatta toleransın sıfır olduğu ve meyvelerde pestisit kalıntısının kabul edilmediği ifade edilmiştir (Özdem ve Kılınçer, 2008).

Son zamanlarda bölgede meyve bahçelerinde zararlı böcek türleri ile mücadelede gelişen güzel pestisit kullanımının artmasıyla mevcut doğal dengenin bozulmasına neden olduğu düşünülmektedir. Böyle durumlarda da ileri ki yıllarda zararlıların salgın yapma ihtimalini arttırmaktadır. Bu sorunların ortadan kaldırılması hem çevre açısından önemli hem de sağlıklı ürünün piyasaya sunulması açısından önemlidir. Bu nedenle sürdürülebilir tarımsal üretim ve kalkınmayı sağlamak için Entegre mücadele sisteminin uygulanması gerekir. Bu çalışmada zararlı kiraz sineği ile etkili bir mücadele yapmak için de öncelikle zararlının yayılış alanları, doğaya çıkış zamanı, ve popülasyon gelişimi belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Materyal

Çalışmanın ana materyalini Elazığ (Merkez Harput, Baskil ve Sivrice ilçeleri) ilinde yetiştirilen kiraz, bunlar üzerinde zararlı olan *R. cerasi*'nin larva, pupa ve erginlerine ait örnekleri yanı sıra içerisinde amonyak tuzu bulunan çekici rebel tuzaklar ile çeşitli laboratuvar malzemeleri oluşturmuştur.

Metod

Zararlının yayılış alanlarını belirlemeye yönelik çalışmalar, kiraz üretiminin yoğun olarak yapıldığı Elazığ ili; Merkez Harput, Baskil ve Sivrice ilçelerine bağlı belde ve köylerde, 2016-2017 yılları arasında yürütülmüştür. Örneklemeler, tesadüfi olarak seçilen bahçelerde Grigorov, (1974) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde göre; 20 ağaç olan bahçelerde bütün ağaçlar, 21-70 ağaç olanlarda 21-30, 71-150 ağaç olanlarda 31-40, 151-300 ağaç olanlarda 41-80, 301-1000 ağaç olanlarda %15, 1000'den fazla ağaç olanlarda ise %5'i kontrol edilmiştir. Zararlının yayılış alanları ve popülasyon yoğunluklarının belirlenmesi çalışmasında gerek

kapama ve gerekse kapama yetiştiriciliğinin olmadığı bahçelerde kiraz ağaçlarına, içerisinde amonyak tuzu bulunan çekici rebel tuzaklar asılmıştır. Tuzaklar, hâkim rüzgâr yönünde ağaçların 1,5-2 m yükseklikte olan kısımlarına, ağaçların yan dallarının uç kısımlarına denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Özdem ve Kılınçer, 2008). Tuzaklar 2 adet/dekar ve tuzak mesafesi ise 15-20 m olacak şekilde ayarlanmış ve çekici özellik gösteren amonyak kapsülleri 3-4 haftada bir değiştirilmiştir (Anonim, 2011). Sürveyler Nisan-Temmuz ayları boyunca, iki hafta bir tuzakların olduğu bahçelere gidilerek tuzaklar kontrol edilerek kiraz sineğinin yayılış alanları belirlenmiştir. Kiraz sineğinin popülasyon gelişimini belirlemek için ise; Elazığ Merkez Harput ilçesine bağlı Obuz köyü, Baskil ilçesine bağlı Kayabeyli köyü ve Sivrice ilçesine bağlı Plaj köyü olmak üzere toplam 3 bahçeye asılan tuzaklar haftalık olarak kontrol edilerek ve tuzağa gelen ergin sinekler sayılarak kayıt altına alınmıştır. Böylelikle *R. cerasi* L.'nin yayılış alanları, ilk çıkışı zamanı, popülasyonun tepe noktasına ulaştığı ve zararlının popülasyonunun sona erdiği tarihler tespit edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Elazığ ilinde 2016-2017 yıllarında yapılan sürveyler sonucunda kiraz üretimi yapılan alanların Kiraz sineği ile (*Rhagoletis cerasi* L.) bulaşık olduğu belirlenmiştir. Kiraz bahçelerine Nisan ayının üçüncü haftasından itibaren asılan Rebel+ amonyum asetat içeren tuzaklarda ilk ergin çıkışının yakalanma tarihi ile birlikte popülasyon değişimi takibi haftalık olarak yapılmıştır. 2016 yılında Plaj Köyü (Sivrice-Gezin)'de yapılan gözlemlerde kitlesel tuzaklarda ilk yakalama 17.05.2016'da 3 erginle görülmüştür. Devam eden sayımlarda 24.05.2016'da 8 ergin, 31.05.2016'da 5 ergin, 07.06.2016'da 5 ergin, 14.06.2016 tarihinde tuzaklarda 3 adet ve son olarak 21.06.2016 tarihinde tuzaklarda 2 adet ergin görülmüştür. Yine 2017 yılındaki çalışmada kitlesel tuzaklarda ilk yakalama 09.05.2017'de 1 erginle saptanmış, devam eden sayımlarda 16.05.2017'de 10 ergin, 23.05.2017'de 11 ergin, 30.05.2017'de 7 ergin, 06.06.2017'de tuzaklarda 3 adet ergin, son olarak 13.06.2017'de tuzaklarda 2 adet ergin görülmüştür. Böylece Obuz Köyü (Merkez-Harput)'ünde bölgesinde Kiraz sineği zararlısı popülasyon süresinin 35-42 gün arasında değiştiği söylenebilir.

Obuz Köyü (Merkez-Harput)'ünde 2016 yılında yapılan çalışmada Sarı yapışkan görsel tuzaklarda ilk ergin çıkışı 6 erginle 10.05.2016'da görülmüş, devam eden sayımlarda 17.05.2016'da 5 ergin, 24.05.2016'da 10 ergin görülmüş, 31.05.2016'da 4 ergin, 07.06.2016'da 3 ergin ve son olarak 14.06.2016'de tuzaklarda 2 adet ergin görülmüştür. Yine 2017 yılında yapılan çalışmada ilk ergin 16.05.2017'de 1 erginle tespit edilmiş, devam eden sayımlarda 23.05.2017'de 11 ergin, 30.05.2017'de 9 ergin, 06.06.2017'de 4 ergin, 13.06.2017'de 2 ergin ve son olarak 14.06.2016'de tuzaklarda 2 adet ergin görülmüştür. Bu veriler dikkate alınarak Obuz Köyü (Merkez-Harput)'ünde popülasyon süresinin yaklaşık 35 gün olduğu görülmektedir.

Kayabeyli Köyü (Baskil)'de 2016 yılında yapılan çalışmada kitlesel tuzaklarda ilk ergin çıkışı 5 erginle 24.05.2016'da görülmüş, devam eden sayımlarda 31.05.2016'da 13 ergin görülmüş, 07.06.2016'da 9 ergin, 14.06.2016'da 5 ergin ve 21.06.2016 tarihinde popülasyon sifıra düşmüştür. Yine 2017 yılında yapılan çalışmada ilk ergin 16.05.2017'de 4 erginle tespit edilmiş, devam eden sayımlarda 23.05.2017'de 10 ergin, 30.05.2017'de 10 ergin, 06.06.2017'de 5 ergin, ve son olarak 13.06.2017'de 2 ergin görülmüştür. Kayabeyli Köyü (Baskil)'nde popülasyon süresinin yaklaşık 21 ve 28 gün arasında olduğu belirlenmiştir.

Kiraz bahçelerinde 2016 ve 2017 yıllarında zararlı erginlerin doğada bulunduğu süre 21 ile 42 gün arasında değiştiği, tuzaklarda yakalanan ergin sayısı ve popülasyon gelişimi bakımından farklılıklar görülmüştür. Örnekleme yapılan bahçelerin her iki yılda da aynı olduğu için, bu durumun ekolojik koşullarından da kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim Özdem ve Kılınçer (2009a), 2007 ve 2009 yılları arasında birçok kitlesel yakalama tuzağını Kiraz sineğine karşı denemiş olduğu ve her deneme yılı için popülasyon sayısının ve popülasyon süresinin değişmiş olduğu vurgulanmıştır. Elazığ ili kiraz bahçelerinde Mayıs ayında Kiraz sineği çıkışı başladıktan sonra devam eden haftalarda en yüksek popülasyonu meyveler saman sarısı dönemde iken oluşturmakta ve zararının büyük kısmının da bu dönemde yaptığı tespit edilmiştir. Hasat dönemine yaklaşırken popülasyonun düştüğü, zararın azaldığı ve hasat sonrası dönemde popülasyonun sifıra düştüğü görülmüştür. Bu çalışma sonucuyla benzerlik arz eden Çanakkale ili kiraz bahçelerinde yapılan bir çalışmada Kiraz sineğinin ergin uçuşu nisan sonu ile haziran ayı ortasına kadar devam ettiğini bildirilmiştir (Ertop ve Özpar, 2011). Bununla birlikte Tezcan ve Gülperçin (2000)'in 1998-2000 yılları arasında yaptığı çalışmada, ilk ergin sineğin ben düşme döneminde mayıs ayında görüldüğü ve popülasyonun haziran ortalarına doğru sona erdiği bildirilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise Ulusoy v.dğr. (1999) Pozantı yöresinde *R. cerasi*'nin mayıs ayı sonlarında çıkmaya başladığını ve ağustos ayı ortalarına kadar erginlerinin tuzaklarda görüldüğünü; Tezcan ve Gülperçin (2000) İzmir ve Manisa illerinde *R. cerasi*'nin ana zararlı olduğunu; nisan ayı sonunda erginlerin ortaya çıktığını ve mayıs ayı sonunda ise ergin çıkışının sona erdiğini tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Bahçelerde 2016 yılında hasat zamanı her bahçede rastgele kontrol edilen 1000 adet meyvede Plaj köyünde %0,3, Obuz köyünde %0,6 ve Kayabeyli köyünde ise %0,2 oranında bulaşıklık (Kurtlu meyve) tespit edilmiştir. 2017 yılında ise rastgele kontrol edilen 1000 adet meyvede Plaj köyünde %0,5, Obuz köyünde %0,4 ve Kayabeyli köyünde ise %0,4 oranında bulaşıklık (Kurtlu meyve) tespit edilmiştir. Nitekim, Tezcan ve Gülperçin (2000), İzmir ve Manisa'da ekolojik kiraz üretim bahçelerinde *Rhagoletis cerasi* (L.)'nin kitlesel yakalanması amacıyla, 15x20 cm boyutlarında fiberglas'dan yapılmış sarı renkli görsel tuzaklardan ağaç büyüklüğüne göre ortalama 4 (2-7) tuzak/ağaç asarak haftalık kontrollerini yapmışlar, 1998 yılında erkenci çeşitlerde İzmir'de %0,2 ve Manisa'da %0,1 oranında, meyvelerde kurtlanma tespit edilirken, orta mevsim ve geççi çeşitlerde bulaşma saptamamışlardır.

4. Sonuç ve öneriler

Çalışma sonunda Elazığ ili yoğun olarak kiraz üretiminin yapıldığı alanlarında Kiraz sineğinin yayılış gösterdiği tespit edilmiştir. Bahçelerde çekici tuzaklarda Kiraz sineğinin ilk erginleri meyveye ben düştüğü dönem olan Mayısın ilk haftasında görülmüştür. Kiraz sineğinin çıkışı başladıktan sonra devam eden haftalarda görsel sarı yapışkan çekici tuzaklarda yakalanan en yüksek popülasyon meyveler saman sarısı döneminde iken olduğu ve zararının büyük kısmının da bu dönemde yaptığı tespit edilmiştir. Hasat dönemine yaklaşırken zararlının popülasyonun düşmesiyle birlikte zararının da azaldığı ve hasat sonrası dönemde popülasyonun sifıra düştüğü

belirlenmiştir. Zararlının popülasyon gelişiminin iki yılda da yaklaşık 21-42 gün arasında devam ettiği ve popülasyonun bitiş tarihinin ise en son haziranın ayının üçüncü haftasına denk geldiği görülmüştür. Ekolojik koşullar, rakım, yöney ve bitkinin vejetasyon süresi; erginin doğaya çıkış tarihini, popülasyon gelişimini ve bitişini etkilemektedir. Bununla birlikte yıllara göre kiraz bahçelerinde hasat zamanı kontrol edilen 1000 adet meyvede %0.2 ve %0.4 arasında bulaşma (Kurtlu meyve) saptanmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma ile Elazığ ilindeki Kiraz üretim alanlarında Kiraz sineğinin doğaya çıkış zamanı, popülasyon gelişimi ve sona erme dönemi yanı sıra bulaşma oranı hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir.

Kaynakça

- Aktürk, A., 1997. Türkiye'nin önemli kiraz zararlıları üzerinde bir değerlendirme. E. Ü. Ziraat Fakültesi Diploma Tezi, 20s.(Yayınlanmamış).
- Anonim, 2011. Kiraz Entegre Mücadele Teknik Talimatı. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, 156 s, Ankara.
- Anonim, 2018. (www.tuik.gov.tr) (Erişim Tarihi: 17.03.2019)
- Boller, E., 1972. Zum Verkauf und Einsatz neuer Kirschenfliegenfallen im Jahre 1972. Schweiz. Z. Obst-und Weinbau, 108, 84-87.
- Daniel, C. and Grunder, J., 2012. Integrated Management of European Cherry Fruit Fly *Rhagoletis cerasi* (L.): Situation in Switzerland and Europe. Insects, 3, 956-988.
- Ertop, S. ve Özpınar, A., 2011. Çanakkale İli kiraz ağaçlarındaki fitofag ve yararlı türler ile bazı önemli zararlıların popülasyon değişimi. Türk. entomol. bült., 2011, 1 (2): 109-118.
- Fimiani, P., Frilli, F., Inserra, S., Monaco, R. & Sabatino, A., 1981. Ricerche coordinate su aspetti bioecologici della *Rhagoletis cerasi*L. in Italia. Bollettino Laboratorio ntomologia agraria Filippo Silvestr, 38: 159–211.
- Fimiani, P., 1983. Multilarval Infestations by *Rhagoletis cerasi* L. (Diptera: Tephritidae) in Cherry Fruits. In Fruit Flies of Economic Importance; Cavalloro, R., Ed.; Balkema: Rotterdam, The Netherlands, 52-59 p.
- Grigorov, S.P., 1974. Karantina na Restaniata. Zemizdat, Sofya, 346 pp.
- Kovancı, O.B. ve Kovancı, B., 2000. Bursa İlinde *Rhagoletis cerasi* L. (Diptera: Tephritidae)'ye Karşı Savaşım Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Türkiye IV. Entomoloji Kongresi, Aydın.
- Nizamlioğlu, K., 1954. *Rhagoletis cerasi* L.'nin İstanbul ve Marmara Bölgeleri'nde Biyoloji ve Mücadelesi Üzerinde araştırmalar. Ressam Cahit Matbaası, İstanbul, 67 s.
- Özbek, S., 1978. Özel Meyvecilik. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yay., Yayın No: 128, Adana.
- Özdem, A., N., 2008. The Biology of European Cherry Fruit Fly [*Rhagoletis cerasi* (L., 1758) (Diptera: Tephritidae)]. Acta Hort., 897-904.
- Özdem, A., Kılınçer, N., 2009a. The effectiveness of the trap types and lures used for mass trapping to control Cherry fruit fly [*Rhagoletis cerasi* (L., 1758)]. Mun. Ent. Zool., 4(2): 371-377.
- Robinson, A. S. & G. Hooper, 1989. Fruit Flies Their Biology, Natural Enemies and Control, Volume 3A, in W. Hele (Ed.) World Crop Pests, 372 p.
- Tezcan, S. ve N., Gülperçin, 2000. "İzmir ve Manisa illeri ekolojik kiraz üretim bahçelerinin ana zararlılarından Kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) (Diptera: Tephritidae) ile savaşta sarı yapışkan tuzaklardan yararlanma olanakları, 167-176". Türkiye 4. Entomoloji Kongresi, (12-15 Eylül, 2000, Aydın) Bildirileri.
- Ulusoy, M. R., G. Vatansver & N. Uygun, 1999. Ulukışla (Niğde) ve Pozantı (Adana) yöresinde kirazlarda zararlı olan türler, doğal düşmanları ve önemlileri üzerindeki gözlemler. Türkiye Entomoloji Dergisi, 23 (2): 111-120.
- Ülkümen, L.,1973. Bağ-Bahçe Ziraatı. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 275, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 128, Ders Kitapları Serisi No: 22, Erzurum.



***Dorystoechas hastata* Bitkisinde Eksplant Tipi ve Bitki Büyüme Düzenleyicilerine Bağlı Kallus Gelişimi**

Bengi Erdağ², Yelda Emek^{1*}, Serap Kurt Aydoğan³

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7042-9011)

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1095-3908)

³Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 17 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 15 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.554947)

ATIF/REFERENCE: Erdağ, B., Emek, Y. & Kurt Aydoğan, S. (2019). *Dorystoechas hastata* Bitkisinde Eksplant Tipi ve Bitki Büyüme Düzenleyicilerine Bağlı Kallus Gelişimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 367-373.

Öz

Bu çalışma monotipik endemik *Dorystoechas hastata* bitkisinin kallus kültürlerinin oluşturulmasında, eksplant tipi ve bitki büyüme düzenleyicilerinin etkisinin belirlenmesi amacı ile planlanmıştır. Doğal ortamından toplanmış ve *in vitro* elde edilmiş bitkilerin çeşitli kısımları tek başına BA veya 2,4-D ve bu büyüme düzenleyicilerinin kombinasyonlarını içeren 1/2 MS besi ortamlarına alınmıştır. Hiçbir bitki büyüme düzenleyici içermeyen 1/2 MS besi ortamı kontrol olarak belirlenmiştir. Doğal ortamından alınarak kültüre edilen eksplantlar ile *in vitro* fidelerden elde edilen yaprak sapı eksplantları kültüre cevap vermemiştir. *In vitro* fidelerden elde edilen yaprak eksplantları ise sadece 2 mgL⁻¹ BA içeren 1/2 MS ortamında kallus oluşturmuşlardır. *In vitro* elde edilmiş fidelerin kotiledon eksplantları kültüre farklı oranlarda kallus indüksiyon frekansı oluşturarak cevap vermişlerdir. En yüksek kallus indüksiyon frekansı 1 mgL⁻¹ BA ve 2 mgL⁻¹ 2,4-D içeren 1/2 MS ortamında elde edilmiştir (% 55). Denemelerin sonunda *Dorystoechas hastata* bitkisinin kallus kültürlerinin oluşturulmasında kotiledonlar en uygun eksplant olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Dorystoechas hastata*, kallus, kotiledon, bitki büyüme düzenleyicisi

Development of Callus due to Explant Type and Plant Growth Regulators in *Dorystoechas hastata* Plant

Abstract

This study was planned to determine the effect of explant type and plant growth regulators in the formation of callus cultures of the monotypic endemic *Dorystoechas hastata* plant. Various parts of the plants collected from their natural population and obtained *in vitro* were cultured on 1/2 MS medium containing BA or 2,4-D alone and combinations of these growth regulators. 1/2 MS medium without plant growth regulators was determined as control medium. The explants collected from wild and petiol explants obtained from *in vitro* seedlings did not respond to culture. Leaf explants obtained from *in vitro* seedlings formed calli only on 1/2 MS medium with 2 mgL⁻¹ BA. Cotyledon explants obtained from *in vitro* seedlings were responded to the culture by creating callus induction frequency at different rates. The highest callus induction frequency was obtained on 1/2 MS medium with 1 mgL⁻¹ BA and 2 mgL⁻¹ 2,4-D (55%). At the end of the experiments, cotyledons were determined as the most suitable explants in the formation of callus cultures of *Dorystoechas hastata*.

Keywords: *Dorystoechas hastata*, callus, cotyledon, plant growth regulators

BA- N⁶-Benziladenin

¹ Sorumlu Yazar: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye ORCID: 0000-0003-1095-3908, yelda@adu.edu.tr

2,4-D- 2,4-diklorofenoksi asetik asit

MS –Murashige and Skoog medium

1. Giriş

Lamiaceae familyası eterik yağ üretim kapasitesi ile öne çıkmış önemli türlere sahip, kozmopolit yayılış gösteren bir familyadır. Familya üyeleri dünya üzerinde yaklaşık 256 cins ve 700'ün üzerinde tür ile (Harley ve ark., 2004) Türkiye'de ise 45 cins ve 546 tür ile temsil edilmektedir ve ülkemizdeki endemizm oranı % 42'dir (Başer, 1994).

Lamiaceae familyası üyelerinin çoğu uçucu yağ içermektedir ve bu özellikleri nedeni ile baharat, parfümeri eldesi ve geleneksel tıp uygulamalarında geniş ölçüde kullanım alanına sahiptir. Familyanın bir çok türünün farmakolojik özellikleri araştırılmış ve terpenoid, iridoid, flavonoid ve fenolik bileşikler bakımından zengin kimyasal içeriğe sahip oldukları rapor edilmiştir (Naghbi ve ark., 2005).

Dorystoechas hastata Boiss. & Heldebr. Ex Benth *Lamiaceae* familyasına ait monotipik endemik bir türdür (Davis, 1982). Bitki; Antalya ve çevresinde "Çalba Çayı" olarak bilinmekte ve soğuk algınlığına karşı taze ya da kurutulmuş yaprakları lokal kullanıcılar tarafından tüketilmektedir (Erdağ ve ark., 2010). Ayrıca bitki "Devren kekiği" olarak da adlandırılmaktadır (Güner ve ark., 2012). Tür ile ilgili raporlar oldukça sınırlıdır. Venturella ve ark. (1988) tarafından bitkinin flavonoid ve terpenoidleri içerdiği rapor edilmiştir. Bir başka çalışmada bitkinin yapraklarının prolin içeriği ve antioksidan aktivitesi araştırılmış, bitkinin yüksek prolin içeriğine sahip olduğu ve antioksidanların doğal kaynağı olabileceği yönünde bilgiler verilmiştir (Karagözler ve ark., 2008). Erkan ve ark.'nın 2011 yılında yaptığı bir başka çalışmada bitkinin fenolik bileşik profili belirlenmiş ve antioksidan aktivitesi rapor edilmiştir. *D. hastata* ile ilgili *in vitro* teknikler kullanılarak yapılan tek çalışmada ise aksiller sürgün eldesi ile mikroçoğaltım protokolü tanımlanmıştır (Erdağ ve ark., 2010) Tüm bu araştırmalar ve sonuçları bitkiye olan ilgiyi her geçen gün daha da arttırmaktadır.

Doğal bitkisel biyoaktif bileşenlere artan ilgi, araştırmacıları biyoteknolojik yöntemlerle istenilen bileşiklerin elde edilmesi yönündeki çalışmalara yönlendirmiştir. Farklı *in vitro* tekniklerin doğal ürünlerin gerçek ve sürdürülebilir kaynağı olabileceği Vijaya ve ark. (2010) tarafından da rapor edilmiştir. Bu yöntemlerden biri olan kallus kültürleri ile ana bitkide bulunan biyoaktif bileşenlere denk veya daha güçlü özel tıbbi bileşenlerin etkili bir şekilde üretilebileceği pek çok çalışmada bildirilmiştir (Tan et al., 2010; Vijaya et al., 2010; Hussain et al., 2012)

Fenolik bileşiklerce zengin bitkilerin *in vitro* kültüre alınmaları sırasında bu fenolik bileşiklerin kesik yüzeylerden salınması ve bunun sonucu olarak eksplant kahverengileşmesi ve ardışık büyümenin durması bu bitkilerin *in vitro* kültürlerinin oluşturulması sırasında karşılaşılan problemlerdendir (Bhojwani ve Razdan, 1996; Aliyu, 2005; Poudyal ve ar., 2008). Fenolik bileşiklerin salınmasını engelleyecek ve/veya salınan bileşikler absorbe edecek ortam bileşenlerinin kullanılması bir çözüm olarak kullanılmasına rağmen; fenolik bileşikler ortama az salınan eksplantlar kullanılması ve bu eksplantların kallus oluşturma cevaplarına bitki büyüme düzenleyicilerinin etkisinin belirlenmesi daha pratik bir yol olarak görülmektedir.

Bu çalışma *Dorystoechas hastata* bitkisinin kallus kültürlerinin oluşturulmasında eksplant tipi ve bitki büyüme düzenleyicilerinin etkisini belirlemek amacı ile planlanmıştır ve sonuçların kallus kültürleri ile bitkinin çoğaltılması sırasında karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik bir katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada *Dorystoechas hastata* Boiss. & Heldebr. Ex Benth bitkisinin doğal ortamından toplanan yaprak ve yaprak sapları ile *in vitro* elde edilmiş fidelerin yaprak, yaprak sapı ve kotiledon eksplantları başlangıç materyali olarak kullanılmıştır.

Doğal ortamından toplanan yaprak ve yaprak sapları %70'lik Etil alkol'de 5 dakika tutulmuş daha sonra % 4.5'lik sodyum hipokloritte (NaOCl, 3 damla tween-20 ilaveli) 8 dakika süre ile steril edilmiştir. Steril edilen materyaller 5'er dakika süre ile 3 kez steril distile su ile durulanmıştır.

In vitro tohum sterilizasyonu ve çimlenmesi Erdağ ve ark., (2010) tarafından belirlenen protokole göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre; 30 dakika boyunca çeşme suyu altında yıkanan tohumlar; %70'lik Etil alkolde 10 dakika tutulmuş daha sonra % 4.5'lik sodyum hipokloritte 15 dakika süre ile steril edilmiştir. Steril edilen tohumlar 5'er dakika süre ile 3 kez steril distile su ile durulanmış ve daha sonra yarı güçlü Murashige ve Skoog (1/2 MS, Murashige ve Skoog, 1962) ortamına aktarılmışlardır. Bu ortamda çimlenen fidelerin 7 günlük kotiledon parçaları ve 4 haftalık yaprak ve yaprak sapları eksplant olarak kullanılmıştır.

Tüm denemelerde ½ MS ortamına N⁶-Benziladenin (BA; 0.5, 1.0 ve 2 mgL⁻¹) ve 2,4-diklorofenoksi asetik asit (2,4-D; 0.2, 0.5, 1.0 ve 2 mgL⁻¹) tek başına veya 2,4-D: BA kombinasyonu (0.2:0.5, 0.2:1.0, 0.2:2.0, 0.5:0.5, 0.5:1.0, 0.5:2.0, 1.0:0.5, 1.0:1.0, 1.0:2.0, 2.0:0.5, 2.0:1.0 ve 2.0:2.0 mgL⁻¹) şeklinde ilave edilmiştir. Bitki büyüme düzenleyicisi içermeyen ortam kontrol olarak kullanılmıştır. Tüm ortamlar %3 sukroz (w/v) ve % 0.8 agar-agar (w/v) içermektedir. Ortamların pH'sı 121°C'ta 15 dakika boyunca otoklavda steril edilmeden önce 0.1 M NaOH ve 0.1 M HCl çözeltileri ile 5.8'e ayarlanmıştır.

Kültürler 2 haftalık aralıklarla alt kültür edilmiştir. Kallus indüksiyon frekansı (K_{if}), kültür başlangıcından 6 hafta sonra aşağıda yer alan formül kullanılarak hesaplanmıştır:

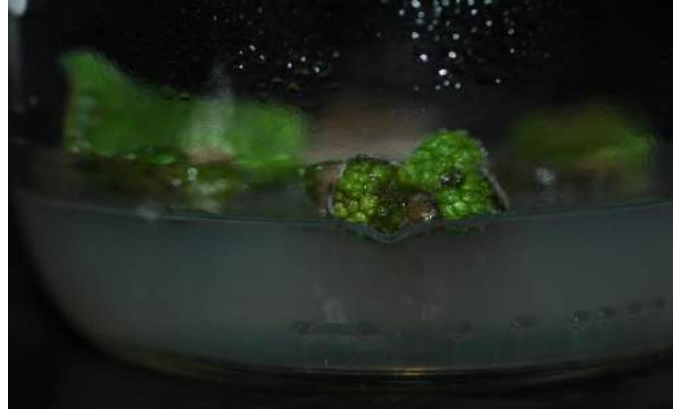
$$K_{if} = \frac{\text{Kallus oluşturan eksplant sayısı}}{\text{Kullanılan toplam eksplant sayısı}} \times 100$$

Tüm kültürler 24±2°C'de 16 saat fotoperiyot koşullarında tutulmuştur. Denemeler bir kavanoza 4 eksplant gelecek şekilde 5 tekrarlıdır ve tüm denemeler 2 kez tekrar edilmiştir.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Dorystoechas hastata bitkisinin doğal ortamından toplanan yaprak ve yaprak sapları için uygulanan sterilizasyon uygun sonuç vermiştir ancak ortamlara aktarılan steril eksplantlar kısa sürede kararma göstermiş ve canlılıklarını yitirmişlerdir. *D. hastata* bitkisinin doğal ortamından toplanmış yaprak ve yaprak sapları *in vitro* kültüre cevap vermede başarısız olmuştur.

In vitro çimlenmiş steril bitkiciklerin yaprak sapı eksplantları da kültüre cevap vermemiştir. *In vitro* çimlenmiş bitkiciklerin yaprak ve kotiledon gibi kısımları ise kültüre kallus oluşumu şeklinde cevap vermişlerdir. Yaprakların eksplant olarak kullanıldığı denemelerde ortamlara aktarılan eksplantların hemen hepsi başlangıçta şişme göstermiş (Şekil 1), ancak bir süre sonra canlılıklarını yitirmişlerdir. Sadece 2 mgL⁻¹ BA içeren ortamlara aktarılan eksplantlar kallus oluşturmuşlardır (Şekil 2). Oluşan kalluslar alt kültür edilmiş ve kallus biyoması belirli bir dereceye kadar artmıştır. Kalluslar kahverengi ve kompakt görünümlüdür (Şekil 3). Bu durum olasılıkla eksplant kaynaklı oksidatif stres tepkisinden çok, sekonder metabolizmaya ilişkin olaylardan kaynaklanmaktadır ve sık altkültürleme (yaklaşık 2 haftada bir) ile bu sorun aşılanamıştır.



Şekil 1. 2 mgL⁻¹ BA içeren ½ MS ortamında şişme gösteren yaprak eksplantları



Şekil 2. 2 mgL⁻¹ BA içeren ½ MS ortamında yaprak eksplantlarından gelişen kalluslar

Sekonder metabolizmanın büyüme düzenleyicilerine bağlı farklılaşma süreci ile yakın ilişkili olduğu kabul edilmektedir (Barz ve ark., 1990; Fowler, 1981; Lindsey ve Yeoman, 1983; Rhodes ve ark., 1986). Örneğin, *Digitalis lanata*'nın hücre kültürleri morfolojik olarak farklılaşmadıkları zaman farmasötik değeri olan glikozidleri üretme yeteneğinde değildir ve kültürlerde bu maddeler ancak organogenezin induksiyonundan sonra tekrar belirlenebilmektedir (Luckner, 1982). Ancak tersi durumlar da literatürde mevcuttur. *Azadirachta indica* kallus kültürlerinde azadirahtin üretimi ile ilgili olarak yapılan bir araştırmada (Wewetzer, 1998), azadirahtin üretimi için morfolojik farklılaşmanın önkoşul olmadığı ve farklılaşmamış hücrelerde yüksek azadirahtin konsantrasyonuna rastlanıldığı sonucu verilmiştir. Aynı çalışmada, alt kültür sayısının (kallus yaşı) bu maddenin ekspresyonunda önemli bir role sahip olabileceği de rapor edilmiştir.

Denemelerimizde yaprak eksplantlarından elde edilen kallusların alt kültürleme ile biyomasının artarken, belli bir süre sonra karararak kendine toksik etki yapması olasılıkla artmış sekonder metabolit içeriği ile ilişkili olabilir. Fenolik oksidasyona bağlı, doku kahverengileşmesi ve ölümü pek çok bitkinin *in vitro* kültür çalışmalarında temel problemlerden biridir. Bu işlem, fenolik bileşiklerin oksidasyonu nedeniyle bitki dokularının yüzeyinin esmerleşmesiyle başlar, bu da bitki dokusunda oldukça reaktif ve toksik olan kinonların oluşumuna yol açar (Taji ve Williams, 1996). Bizim denemelerimizde fenoliklerin artışı kallus biyomas artışı ile paralel gerçekleşmiş görülmektedir. Ancak konu ile ilgili ileri denemelere ihtiyaç vardır.



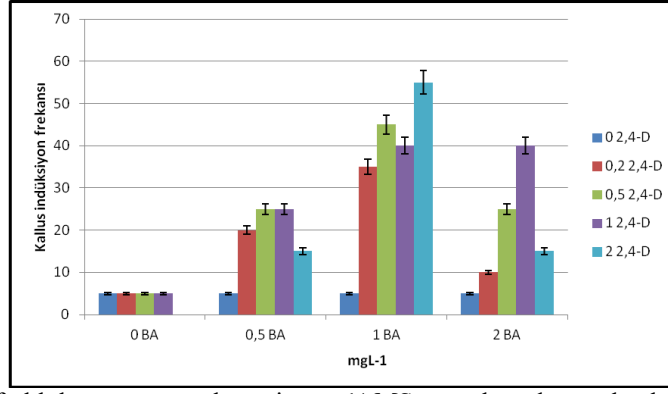
Şekil 3. 2 mgL⁻¹ BA içeren ½ MS ortamında 2 altkültür sonrası kahverengi kompakt kalluslar

Yaklaşık 7 günlük kotiledon eksplantlarının kullanıldığı denemelerimizde eksplantlar herhangi bir kahverengileşme göstermemiştir. Fenolik içerik konsantrasyonlarının çimlenmenin farklı evrelerinde azalmış ya da artmış olabileceği Thomas ve Ravindra (1999) tarafından da rapor edilmiştir. Özyiğit ve arkadaşlarının (2007) pamuk bitkisinin fenolik madde içeriği üzerine yaptıkları bir araştırmada çimlenmenin ilk 7 gününde total fenolik madde içeriğinin en düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bizim denemelerimizde yaprak ve kotiledon eksplantlarının gelişim evresine bağlı olarak fenolik içerik farklılığı *in vitro* kültüre cevabı etkilemiş olabilir.

Kotiledon eksplantlarının kullanıldığı denemelerde 2 mgL⁻¹ 2,4-D'nin tek başına kullanıldığı ortam hariç tüm ortamlarda (bitki büyüme düzenleyicisi içermeyen kontrol grubu da buna dahildir) kallus oluşumu gözlenmiştir. Denemelerde uygulanan bitki büyüme düzenleyici tip ve konsantrasyonuna göre kallus indüksiyon frekansı değişiklik göstermektedir. Eksplant doğasına ilave olarak hormonal diyetin kallogenezi etkilediği pek çok araştırmada da rapor edilmiştir (Hamid ve ark., 2012).

Tek başına BA ve 2,4- D kallus oluşumunu teşvik etmiştir. Ancak düşük oranlarda kallus oluşumu gerçekleşmiştir. Her iki bitki büyüme düzenleyicisinin kombinasyonu ile kallus indüksiyon frekansı artmıştır. En yüksek kallus indüksiyon frekansı 1 mgL⁻¹ BA ve 2 mgL⁻¹ 2,4-D içeren ½ MS ortamında elde edilmiştir (% 55). Bu ortamı sırasıyla 1 mgL⁻¹ BA + 0.5 mgL⁻¹ 2,4-D (%45) ve 1 mgL⁻¹ BA + 1 mgL⁻¹ 2,4- D ve 2 mgL⁻¹ BA + 1 mgL⁻¹ 2,4- D (%40) ilaveli ortamlar izlemiştir (Şekil 4).

D. hastata monotipik bir bitki olduğu için aynı cinsten türler ile karşılaştırma yapmak mümkün değildir. Bu nedenle aynı familya üyelerine ait veriler bulguları değerlendirmek için irdelenmiştir.



Şekil 4. BA ve 2,4- D'nin farklı konsantrasyonlarını içeren ½ MS ortamlarında görülen kallus indüksiyon frekansları.

2,4- D kallus indüksiyonunu teşvik etmek için tek başına veya sitokininlerle (özellikle benzil amino pürin) kombine edilerek yaygın olarak kullanılmaktadır (Loredo-Carrillo ve ark., 2013). Oksinin yüksek konsantrasyonu ile ona göre düşük sitokinin konsantrasyonunun kallus indüksiyonu için daha etkili olduğu *Salvia canariensis* (Molina, 2004) ve *Tribulus terrestris* (Sharifi ve ark., 2012) ile yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir. Bizim denemelerimizde bu durum sadece tek bir kombinasyonda belirlenmiş (1 mgL⁻¹ BA ve 2 mgL⁻¹ 2,4-D içeren ½ MS ortamı) ve bu ortamda en yüksek kallus indüksiyon frekansı elde edilmiştir.

Kotiledonlardan gelen kalluslar kırılğan ve sarımsı- yeşil renktedir (Şekil 5). Kırılğanlık ve renk iyi kallogenizin göstergesidir (Karim ve ar., 2005; Abeda, 2015). Kırılğan kallus terapatik kullanım için sekonder metabolitlerin geniş ölçüde kaynağı olan hücre süspansiyon kültürlerini üretmek için kullanılmaktadır (Boix ve ark., 2013).

Boix ve arkadaşlarının (2013) bir *Lamiaceae* familyası üyesi olan *Rosmarinus officinalis* 'in yaprak eksplantları ile yaptıkları bir araştırmada 2,4-D (0.5 ve 2 mgL⁻¹ 2,4-D) kullanımı ile kırılğan kalluslar elde edilmiştir. Ancak bu kalluslar rejeneratif kapasiteye sahip değildir. Benzer sonuçlar *Cymbopogen martini* (Patnaik ve ark., 1997), *Origanum vulgare* ve *Origanum syriacum* (Arafah ve ark., 2006) gibi diğer *Lamiaceae* üyelerinde de rapor edilmiştir. Bizim denemelerimizde de kalluslar rejeneratif kapasiteye sahip değildir. Sadece 0.5 mgL⁻¹ BA ilaveli ½ MS ortamına aktarılan kotiledon eksplantları direkt rejenerasyon göstermiş, ancak elde edilen sürgünlerin bodur ve hemen hepsinin hiperhidrik olduğu görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 5. 1 mgL⁻¹ BA ve 2 mgL⁻¹ 2,4-D içeren ½ MS ortamına aktarılan kotiledon eksplantlarından elde edilen sarımsı- yeşil, kırılğan kalluslar.



Şekil 6. 0.5 mgL⁻¹ BA ilaveli ½ MS ortamında doğrudan oluşan hiperhidrik sürgünler.

4. Sonuç

Bitki doku kültürlerinde tıbbi önemi olan biyoaktif bileşikler üretmek için mikroçoğaltım, organogenezis ve hücre süspansiyon kültürü gibi farklı prosedürler kullanılmaktadır. Hücre süspansiyon kültürlerinin oluşturulmasında kallusların yapısı önem taşımaktadır. Kırılgan kallus tipi hücre süspansiyon kültürlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip kallus eldesi içinde uygun eksplant tipi ve bitki büyüme düzenleyici konsantrasyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada monotipik endemik *D. hastata* bitkisinin kallus kültürlerinin oluşturulmasında uygun eksplant tipi ve büyüme düzenleyici konsantrasyonu belirlenmiştir. Sonuçların kallus kültürleri ile bitkinin çoğaltılması sırasında karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik bir katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için tohum temin eden Doç. Dr. Özkan Eren'e ve finansal destek sağlayan Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje no: FEF-06014) teşekkür ederiz. Bu çalışmanın bir kısmı, 23-27 Haziran 2008 tarihleri arasında Trabzon-Türkiye de düzenlenen 19. Ulusal Biyoloji Kongresi'nde poster (PB 284) olarak sunulmuştur.

Kaynaklar

- Abeda, Z.H.J. 2015. Optimisation de la production d'anthocyanes par culture cellulaire d'oseille de Guinée [*Hibiscus sabdariffa* var *sabdariffa* L. (*Malvaceae*)], isolement et étude de quelques activités biologiques. Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua.
- Aliyu, O.M. 2005. Application of tissue culture to cashew (*Anacardium occidentale*) breeding: an appraisal. African J Biotech 4(13), 1485-1489.
- Arafah, R.M., Shibli, R.A., Al-Mahmoud, M., Shatnawi, M.A. 2006. Callusing, cell suspension culture and secondary metabolites production in Persian oregano (*Origanum vulgare* L.) and Arabian oregano (*O. syriacum* L.). Jordan J Agric Sci 2, 247-281.
- Başer, K.H.C. 1994. Essential oil of *Labiatae* from Turkey-Recent, Lamiales Newsletter 3, 6-11.
- Baytop T. 1999. Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi. Nobel yayınları, İstanbul.
- Bhojwani, S.S. Razdan, M.K. 1996. Plant Tissue Culture: Theory and Practice, a Revised Edition. Studies in Plant Science , 483-536, Elsevier.
- Boix, Y.F., Arruda, R.C.O, Defaveri, A.C.A., Sato, A., Lage, C.L.S., Victo'rio, C.P. 2013. Callus in *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae): A morphoanatomical, histochemical and volatile analysis, Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology: Official Journal of the Societa Botanica Italiana, 147 (3), 751-757.
- Erdag, B., Emek, Y., Kurt, S. 2010. Clonal propagation of *Dorystoechas hastata* via axillary shoot proliferation. Turkish Journal of Botany 34, 233-240.
- Güner, A., Akyıldırım, B., Alkayış, M.F., Çingay, B., Kanoğlu, S.S., Özkan, A. M., Öztekin, M., Tuğ, G.N. 2012. Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M., Babaç M.T, (eds). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). İstanbul: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul.
- Hamid, B., Ouïam, C., Dambier, D., Froelicher, Y. 2012. Mise au point des conditions de calogénèse, caulogénèse et rhizogénèse chez les porte-greffes d'agrumes à partir d'épicotyle: cas du citrange Troyer. J Appl Biosci 60, 4375-4387.
- Harley, R.M., Atkins, S., Budantsev A.L., P.D., Conn, B.J., Grayer, R., Harley, M.M. 2004. "Labiatae," in Flowering Plants. Dicotyledons: Lamiales (except *Acanthacea* including *Avicenniaceae*), Kadereit, J.W. (eds), 167-275, Springer, Berlin, Germany.

- Hussain, S.M., Fareed, S., Ansari, S., Akhlaquer, R.M., Ahmad, Z.I., Saeed, M. 2012. Current approaches toward production of secondary plant metabolites. *J Pharm Bioallied Sci* 4(1), 10-20.
- Karim, R., Chlyah, H., Badoc, A., Douira, A. 2005. Obtention de pieds néoformés suite à l'induction de cals embryogènes d'embryons zygotiques de blés par le borate de sodium et un extrait de *Fusarium graminearum*. *Bull Soc Pharm Bord* 144, 195-210.
- Loredo-Carrillo, S.E., Santos-Díaz, M.L., Leyva, E., Santos-Díaz, M.S. 2013. Establishment of callus from *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl.) Miers and effect of abiotic stress on flavonoids and sterols accumulation. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 22(3), 312-318.
- Molina, S.M. 2004. *In vitro* callus induction and plants from stem and petiole explants of *Salvia canariensis* L. *Plant Tiss Cult* 14, 167-172.
- Murashige, T., Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Plant Physiology* 15, 473-497.
- Naghibi, F., Mosaddegh, M., Motamed, S.M., Ghorbani, A. 2005. Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research* 2, 63-79.
- Özyiğit, I.I., Kahraman, M.V., Ercan, O. 2007. Relation between explant age, total phenols and regeneration response in tissue cultured cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *African Journal of Biotechnology* 6(1), 3-8.
- Patnaik, J., Sahoo, S., Debata, B.K. 1997. Somatic embryogenesis and plantlet regeneration from cell suspension cultures of palmarosa grass (*Cymbopogon martini*). *Plant Cell Rep* 16, 430-434.
- Poudyal, B.K. D1, G., Zhang Y., Liu, J., Shi, Q. 2008. Studies on browning problem and phenols content on shoots of Yali, Aikansui and Abbe Fetel pears for *in vitro* culture. *Front Agric China* 2(3), 321-330.
- Sharifi, S., Sattari, T.N., Zebarjadi, A., Majd, A., Ghasempour, H.R. 2012. Enhanced callus induction and high-efficiency plant regeneration in *Tribulus terrestris* L., an important medicinal plant. *Journal of Medicinal Plants Research* 6 (27), 4401-4408.
- Taji, A.M., Williams, R.R. 1996. Overview of Plant Tissue Culture. In: *Tissue Culture of Australian Plants: Past, Present and Future*. Armidale, Australia, Taji, A.M. and Williams, R.R. (eds.), 1-15. University of New England Press.
- Tan, S.H., Musa, R., Ariff, A., Maziah, M. 2010. Effect of plant growth regulators on a callus, cell suspension and cell line selection for flavonoid production from pegaga (*Centella asiatica* L. urban). *Am J Biochem Biotechnol* 6, 284-299.
- Thomas, P., Ravindra, M.B. 1999. Shoot tip culture in mango: Influence of medium, genotype, explant factors, season and decontamination treatments on phenolic exudation, explant survival and axenic culture establishment. *J Horticultural Sci* 72(5), 713-722.
- Venturella, P., Venturella, G., Marino, M. L., Mericli, A. H., Çubukcu, B. 1988. Phytochemical investigation of the Labiatea *Dorystoechas hastata*. *Giornale Botanico Italiano* 122, 291-294.
- Vijaya, S.N., Udayasri, P.V., Aswani, K.Y., Ravi, B.B., Phani, K.Y., Vijay, V.M. 2010. Advancements in the production of secondary metabolites. *J Nat Prod* 3, 112-123.s



The Effect of Microbial Fertilization and Phosphorus Doses on the Chlorophyll Content of Sesame (*Sesamum indicum* L.)

Eray Tulukcu^{1*}, Karim Tahirou Dan Baba²

¹ University of Selcuk, Çumra Vocational High School, Medicinal Aromatical Plant Program (ORCID:0000-0002-5509-0985)

² University of Selcuk, Institute of Science, Department of Soil and Plant Nutrition (ORCID:0000-0001-7292-5414)

(First received 25 March 2019 and in final form 25 May 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.544457)

ATIF/REFERENCE: Tulukcu, E. & Dan Baba, K. T. (2019). The Effect of Microbial Fertilization and Phosphorus Doses on the Chlorophyll Content of Sesame (*Sesamum indicum* L.). *European Journal of Science and Technology*, (16), 374-381.

Abstract

In this aim of this study was to determine the effect of microbial fertilization and P₂O₅ doses on the chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L.) leaf by using chlorophyll meter. Sesame (*Sesamum indicum* L.) crop was cultivated for 113 days under the field typifying semiarid properties located in Konya plain, Turkey. The chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L.) leaves was measured between flowering period and harvesting stage. The average time to the first capsule formation was calculated as 45 days in the the parcels treated with microbial fertilization, while the one treated with P₂O₅ doses was calculated as 47 days. At the end of the experiment, although microbial fertilizer application increased chlorophyll content in sesame leaves, it was observed that P₂O₅ doses increased chlorophyll content with increasing doses. Additionally, it was found that chlorophyll content in sesame leaves fastly increased during capsule formation period with microbial fertilization.

Keywords: Chlorophyll content , Chlorophyll Meter, Semiarid, *Sesamum indicum* (L.).

1. Introduction

Although the gene centre of sesame, which is an ancient culture plant, is not well known, its origin is pointed to Africa because two thirds of its species and economic importance lies in Africa (Nayar, 1984). Secondary gene centre of sesame, which is positioned in Turkey, has been stated to spread in West Asia via India, China and Japan (Yilmaz et al. 2005; Arıoğlu 2007). Sesame, as an annual oil plant belonging to *pedaliaceae* family, has a diploid structure with 26 ($2n = 2x = 26$) number of chromosomes. Their seeds contain about 50-60 % oil and are mostly used in bagel and pastry processing, as well as production of tahini and halva (Tulukcu 2013). It requires a high rate of manual labour during harvesting and blending. Sesame production has not reached the desired level as there is not enough of its cultivation in Turkey. According to 2016 data, the world produced 6.1 million tons of sesame from 10.6 million ha, yielding around 578 kg per ha. The world sesame production records present 50 % in Asia, 43.7 % in Africa and 3.8 % in the Americas. The largestshare in world sesame production is in India, Sudan, Myanmar, China and Nigeria (Anonymous 2018).

The chlorophyll content in the leaf indicates physiological status of plant. Chlorophyll is necessary to convert the light energy into chemical energy and There are two types of chlorophyll in the leaves of plant namely chlorophyll a and chlorophyll b. The amount of radiation absorbed from the sun is related to the photosynthetic product and activity of the leaf (Tulukcu 2013; Curran et al., 1990). The level of leaf chlorophyll content depends on the stress and ages of the plant (Hendry et al., 1987).

Microbial fertilization is one of the alternative methods for re-establishing the balance between plant and soil microorganisms. Microbial fertilization is the process of natural microorganism's reproduction through being supplied to plants in a suitable formulation (Yonsel and Batum 2007). Some soil microorganisms simultaneously provide various benefits to plants as colonized in both plant roots and rhizosphere (Harley and Smith, 1983). Microorganisms colonized in the roots, especially some fungi, increase the root area of the plant and facilitates the intake of water and nutrients (Sylvia 1999). Because of this increase in nutrient content, the

*Corresponding author: University of Selcuk, Medicinal Plant Program, Konya, Turkey ORCID:0000-0002-5509-0985 eraytulukcu@selcuk.edu.tr

plant flourishes better and shows tolerance against biotic and abiotic stress factors such as drought, salinity, heavy metals and soil pathogens (Sylvia and Williams 1992). *Bacillus spp.*, *Azotobacter spp.*, *Trichoderma spp.*, *Rhizobium spp.*, *Azospirillum spp.* and *Saccharomyces spp.* are generally known as useful microorganisms. Some microorganisms colonized in the root which induce resistance to abiotic stresses, promote nutrient intake and use as well as increase photosynthesis (Inbar et al., 1994; Yedidia et al. 2001, Harman et al., 2004, Harman 2006). The beneficial bacteria located in the root zone are called Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) (Saharan and Nehra 2011). Among them are *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* and *Serratia*. PGPRs support root and shoot growth in early development stage of the plants in which they are inoculated and also enhance the effect of biomass.

In general, fertilization is used to provide the required phosphorus by the plants to having low amount beneficial phosphorus. Difficulties are encountered not only in the use of phosphorus fertilizer but also in its production. Alkaline soil pH and high lime content are among the causes of lower phosphorus availability to plant. In general, plants can benefit from only 5 - 25% of the phosphorus added to the soil.

As an alternative to phosphorus fertilization, some soil-borne microorganisms have the ability to dissolve phosphorus and it was stated that if such microorganisms are produced in pure form and inoculated into plant growth media will meet the plant phosphorus requirement by dissolving phosphorus into highly soluble phosphorus in the rhizosphere. Microbial fertilization with phosphorus dissolving microorganisms is a cheaper and environmentally less risky method compared to the addition of phosphorus fertilizer. In this study, the effect of microbial fertilization with different doses of phosphorus on the chlorophyll content in sesame (*Sesamum indicum L.*) crop was investigated.

2. Material and Methods

The research was established in the Akoren district located in the Central Anatolia within the boundaries of Konya typifying semi-arid features, with four replications according to the Randomized Blocks Trial Design during 2018 vegetation period of sesame (*Sesamum indicum L.*) cultivation. A local sesame (*Sesamum indicum L.*) seeds variety were used as test crops. Three different doses of phosphorus P₂O₅ (0, 2, 4 kg / da) were used in the experiment.

Table 1. Data for sesame cultivation period for Akoren climate

Months	Maximum and Minimum		Average temperature °C		Precipitation (mm)
	Day°C	Night°C	Day°C	Night°C	
June	34 - 29	23 - 14	28,8	14,9	8
July	34 - 27	21 - 14	28,7	14,7	0
August	34 - 14	19 - 9	25,2	10,8	7
September	26 - 9	12 - -2	18,6	5,5	68

Bacillus spp. microorganism cultures were obtained from the laboratories of Selçuk University, Çumra Vocational School of Higher Education and transmission of bacteria to seed was done in the same centre. 5 kg / da of constant nitrogen dose was applied in all experiment plots. No chemical drugs and watering were applied to the experiment plots. Weed control was made by hand. The observations were made on different leaves of 6 plants marked with a portable chlorophyll meter device (Minolta SPAD-502, Osaka, Japan) which indirectly measures the amount of chlorophyll from flowering to harvest. Akoren soils were observed to be a clayey, clayey sand soil texture, which pH is between 6.9 and 8 average to 7.7. According to the samples, the average salt, lime and organic matter were around 0.2, 12.0 and 1.0 % respectively (Celebi et al. 2011). Data for sesame cultivation period for Akoren climate is shown in Table 1.

3. Results and Discussion

In this study, the effect of microbial fertilization and P₂O₅ doses on the leaf chlorophyll content of sesame was investigated, the time from sowing to the first capsule is recorded in Table 2, SPAD measurements with periodic intervals from flowering to harvest are given in Table 3.

Table 2: The time from sowing to the first capsule (Days)

Application	1.recurrence	2. recurrence	3.recurrence	4.recurrence	Average
0	44	49	46	49	47
B0	45	45	43	43	44
2	46	46	49	47	47
B2	46	46	45	43	45
4	46	47	46	49	47
B4	47	43	45	45	45
Average	45,66	46	45,66	46	45,83

B: Bacteria Applied

Examining Table 2, the first capsule formation in this study was calculated as 45.83 days on average. Administering the doses of P₂O₅ microbial fertilizers, it was determined that the first capsule formation period was 45 days (below the average) and 47 days (above the average) in other parcels. The time taken to the formation of first capsule in the microbial fertilization was about two days earlier. Saharan and Nehra (2011) reported that the useful microorganisms in soil have a biomass enhancing effect by supporting root and shoot growth in the early stages of the development of plants in which they are inoculated.

Plants need much water during flowering period. In places where the production depends on rainfall without watering, crops sown after spring rainfalls grows faster with a significant improvement in yield to ensure that they pass through the generative period before the summer temperature dries up the soil.

Table 3. SPAD Values According to Microbial Fertilization and P₂O₅ Doses of sesame Growth Period

APL	20/J	23/J	30/J	03/A	10/A	17/A	24/A	31/A	7/S	14/S	21/S	25/S	AVE
0	52,05	54,00	56,80	57,55	56,20	55,23	42,85	38,13	34,30	22,78	22,33	22,23	42,74
B0	54,25	54,83	58,53	56,93	54,60	54,13	48,50	39,28	39,50	25,90	21,83	18,13	43,86
2	52,08	53,68	56,50	57,03	54,95	54,73	46,95	38,35	35,70	23,88	23,28	22,23	43,28
B2	52,88	53,88	59,88	56,23	55,18	53,03	48,88	43,30	40,13	22,08	21,80	19,75	43,92
4	52,75	54,33	59,78	55,33	55,15	54,10	46,50	42,95	38,68	26,50	26,40	26,23	44,89
B4	53,13	55,65	57,95	54,78	54,13	54,40	47,00	39,73	41,62	29,93	26,15	24,88	44,95

APL: Application B: Bacteria Applied, J: July, A: August, S: September

Considering Table 3, it was observed that the chlorophyll measurements of the sesame plant at the time of flowering in the plots without P₂O₅ and non-microbial fertilizers application, the SPAD values (52.05 – 57.55) showed an increase in the initial 20-day period during which the capsule formation increased. While maturation of the capsules increase, SPAD values (56.20 - 34.30) decrease. But there is a limited change in SPAD values (22.78 – 22.23) in the last 10 days when the colour of the capsules wrapped by the sesame plant and begin turn brown. The average value of SPAD was 42.74. SPAD values of the plots without bacteria and phosphates application are given in Figure 1.

As can be seen from the analysis of Table 3, in chlorophyll measurements of sesame plant starting at the time of flowering of microbial fertilizers and non-P₂O₅ application, SPAD values (54.25 - 58.53) increased in the first 13 day period when capsule formation increased but when the maturity of the capsules was approaching SPAD values (56.93 - 39.50) decrease. In the last 10 days, when the colour of the capsules engulfed by the sesame plant started browning, SPAD values had a slightly change (25.90 – 18.13). The mean SPAD value was 43.86. The results are given in Figure 2 graphically.

As indicated in Table 3, during the chlorophyll measurements of sesame from the onset of flowering at the plots on which 2kg/da P₂O₅ was applied without microbial fertilizer, there was an initial increase in SPAD values (52.08 – 57.03) and it later started to decrease (54.95 – 35.70) with capsules maturity during the first 20 days of capsule formation. The SPAD values during the last 10 days from the time browning started in the capsules wrapped with sesame plant did not recorded any change (23.88 – 22.23). The mean SPAD value was 43.28. The results are shown graphically in figure 3.

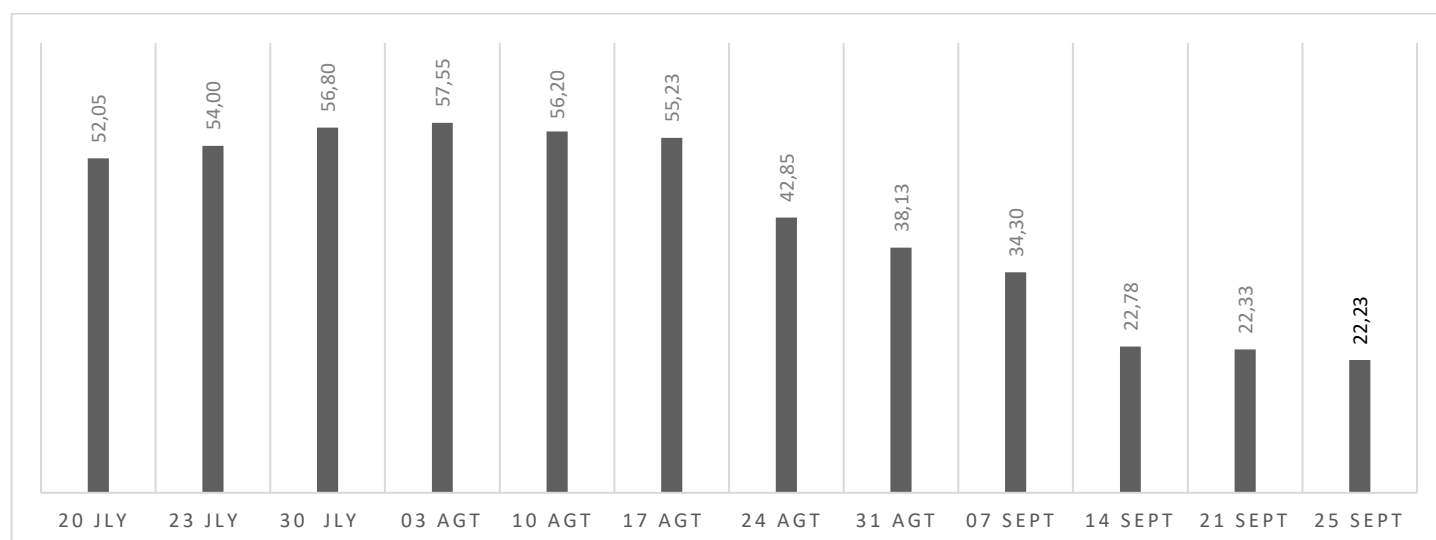


Figure 1. SPAD values of the plots without bacteria and phosphates application

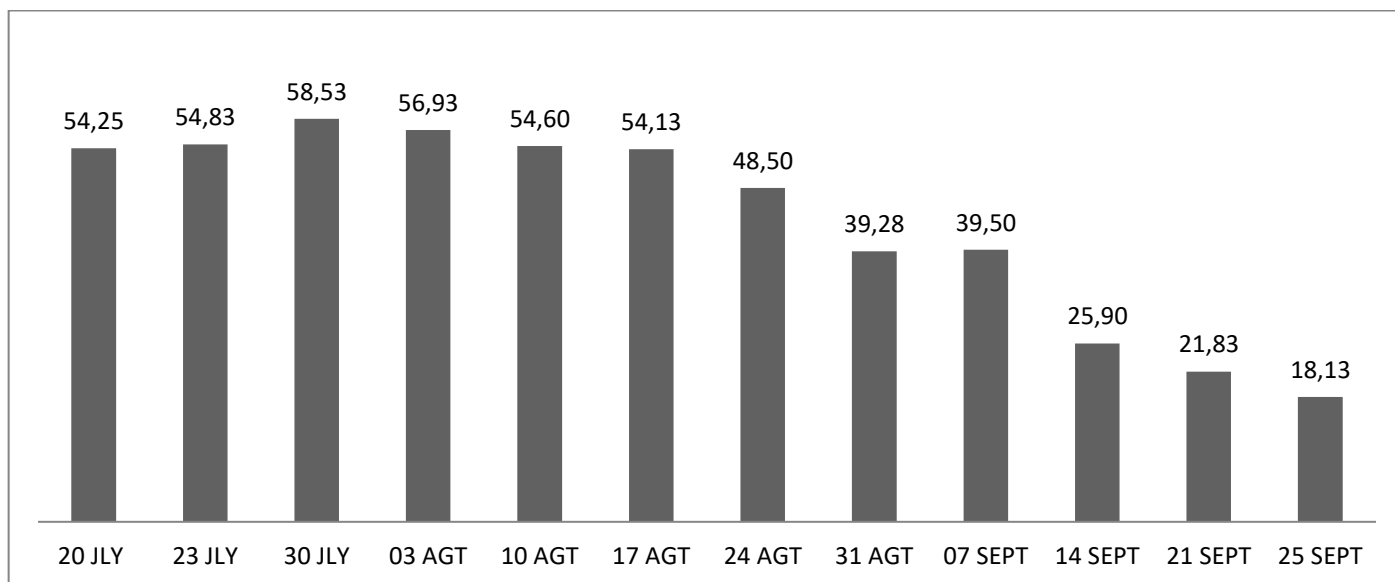


Figure 2. SPAD values of plots with microbial fertilizer and without phosphorus application

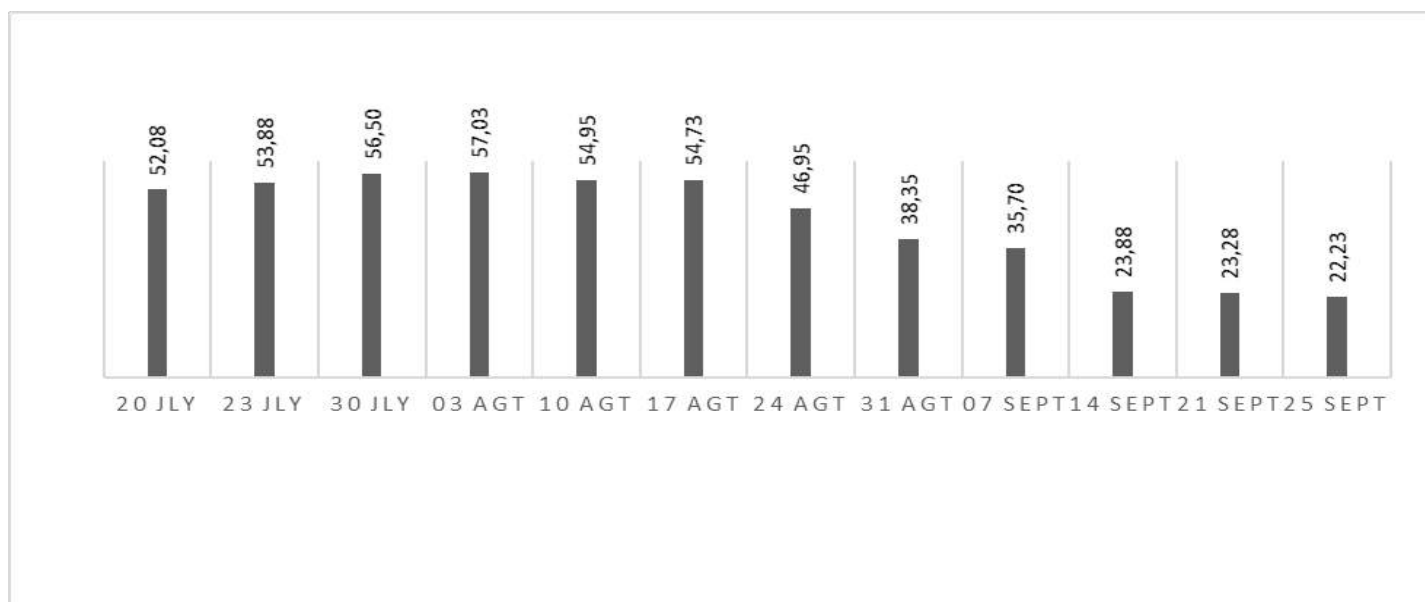


Figure 3. SPAD values of 2kg / da P₂O₅ applied parcels without microbial fertilization

Again in Table 3, the chlorophyll measurements of sesame plants which increased during flowering time in the plots where 2 kg/da P₂O₅ was used applied together with microbial fertilizer, showed an initial SPAD values increment (52.88 - 59.88) and it started declining (56.23 - 40.13) during maturation at the first 13 days of capsule formation. The SPAD values during the last 10 days from the time browning started in the capsules wrapped with sesame plant had a very little change (22.08 - 19.75). The mean SPAD value was 43.92. The results are shown in Figure 4 graphically.

Showing in Table 3, the results of chlorophyll measurements of sesame from the onset of flowering in the plots on which 4 kg/da P₂O₅ was applied without microbial fertilizer. There was an initial increase in SPAD values (52.75 - 59.78) and it later started to reduce (55.33 - 38.68) along with capsules maturity during the first 13 days when capsule formation was on the rise. The SPAD values during the last 10 days from the time browning started in the capsules wrapped with sesame plant did not recorded any change (26.50 - 26.23). The mean SPAD value was 44.89. The results are shown in Figure 5 graphically.

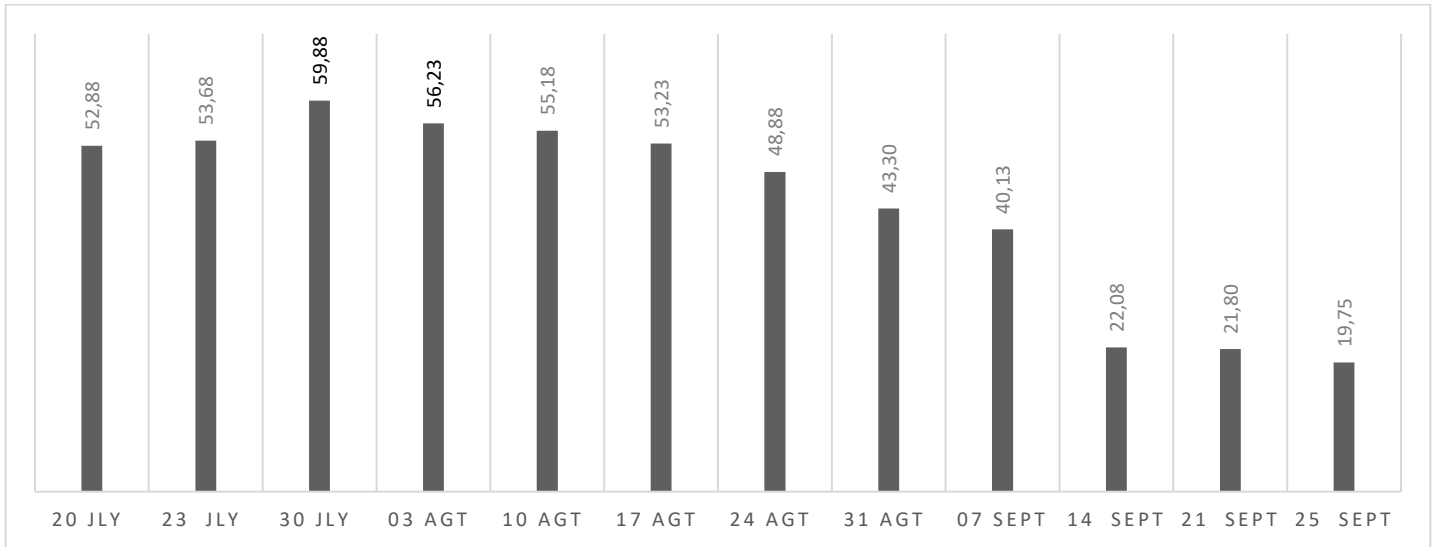


Figure 4. SPAD values of 2kg / da P₂O₅ applied with microbial fertilizer on the plots

Also in Table 3, the chlorophyll measurements of sesame plants which increased during flowering time at the plots where 4 kg/da P₂O₅ was used together with microbial fertilizer, showed an initial SPAD values increment (53.13 – 57.95) and it started to fall (54.78 – 41.62) during maturation at the first 13 days in which the formation of capsules was increasing. The SPAD values during the last 10 days from the time browning started in the capsules wrapped with sesame plant had a very little change (29.93 – 24.88). The mean SPAD value was 44.94. The results are shown in Figure 6 graphically.

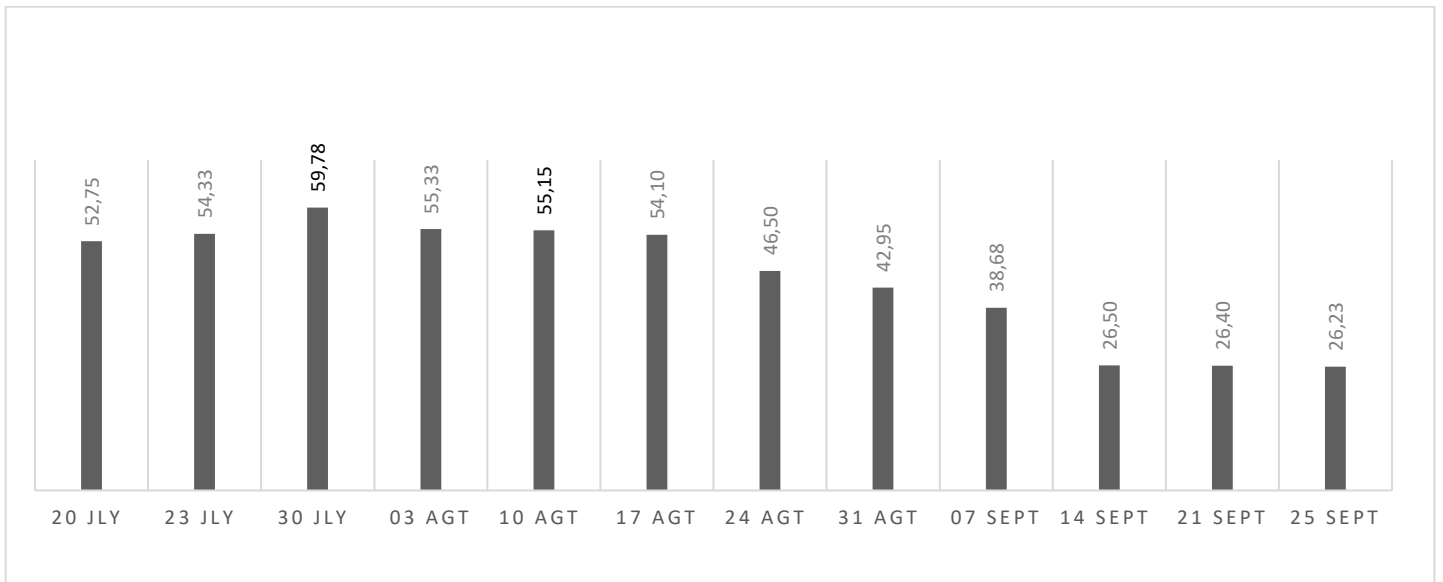


Figure 5. SPAD values of parcels treated with 4kg / da P₂O₅ without microbial fertilization

This study was carried out to determine the effect of different doses of P₂O₅ on the chlorophyll content in sesame by using natural P₂O₅ soluble microbial fertilizer application in soil. SPAD values of plots treated with different doses of P₂O₅ without applying microbial fertilizers are shown graphically in Figure 7. In analysing the graph, the highest SPAD value was obtained as 59.78 at the 3rd observation period with the application of 4 kg / da P₂O₅, while the lowest value was obtained at the last observation (19.75) where P₂O₅ was not applied.

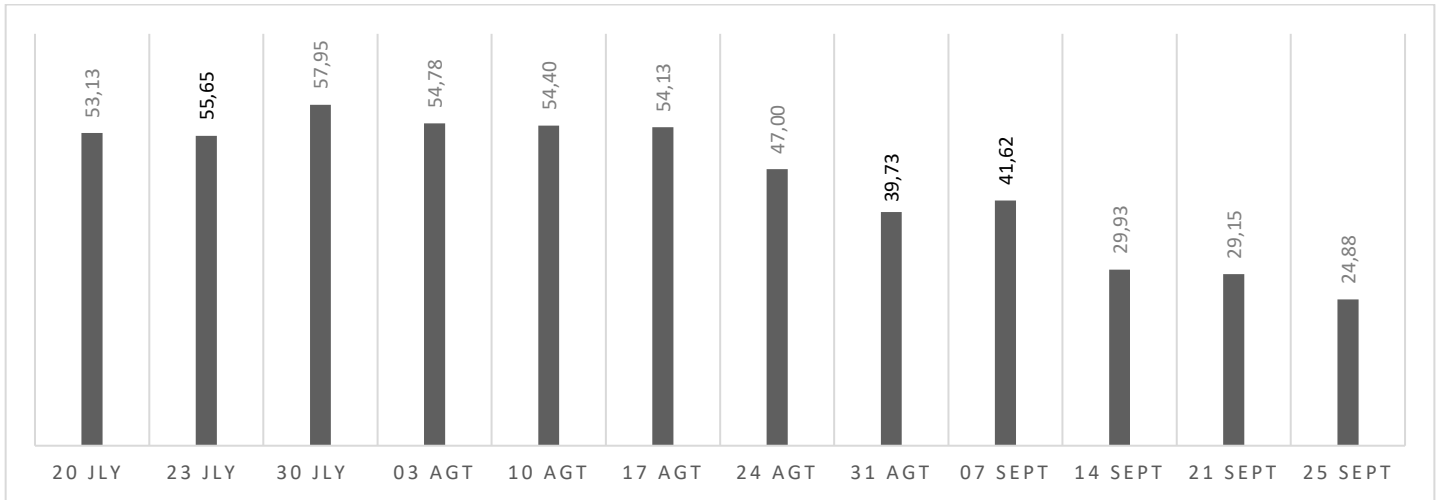


Figure 6. SPAD values of 4kg / da P₂O₅ applied parcels with microbial fertilizer

In this study, it was found that the increasing P₂O₅ application increased the mean SPAD values as seen in figure 8 (42.74 – 43.28 – 44.89). It has been observed that increasing P₂O₅ application has limited effect on the chlorophyll content during the sesame flowering and capsule binding period, however, the application of P₂O₅ during the period when the capsules started becoming mature had higher SPAD values as it delayed the breakdown of chlorophyll in the leaves. The fact that the leaves can accumulate organic matter in the grain by making more photosynthesis on the way to harvesting will contribute to increase the efficiency in the unit area.

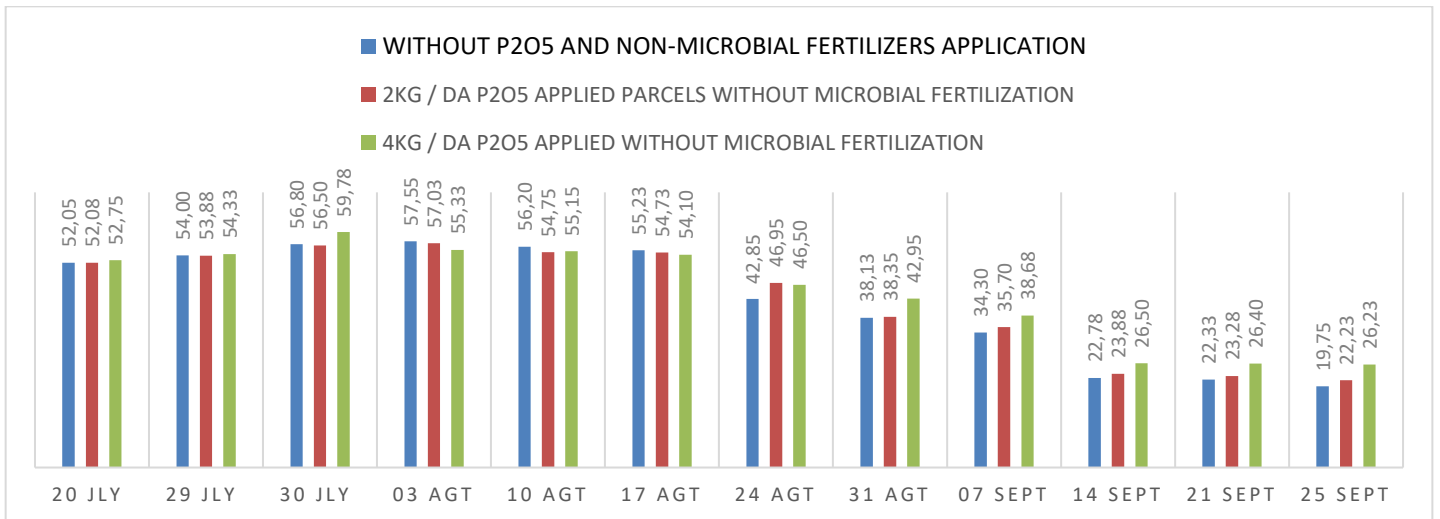


Figure 7. SPAD values of different P₂O₅ doses in non-bacterial plots

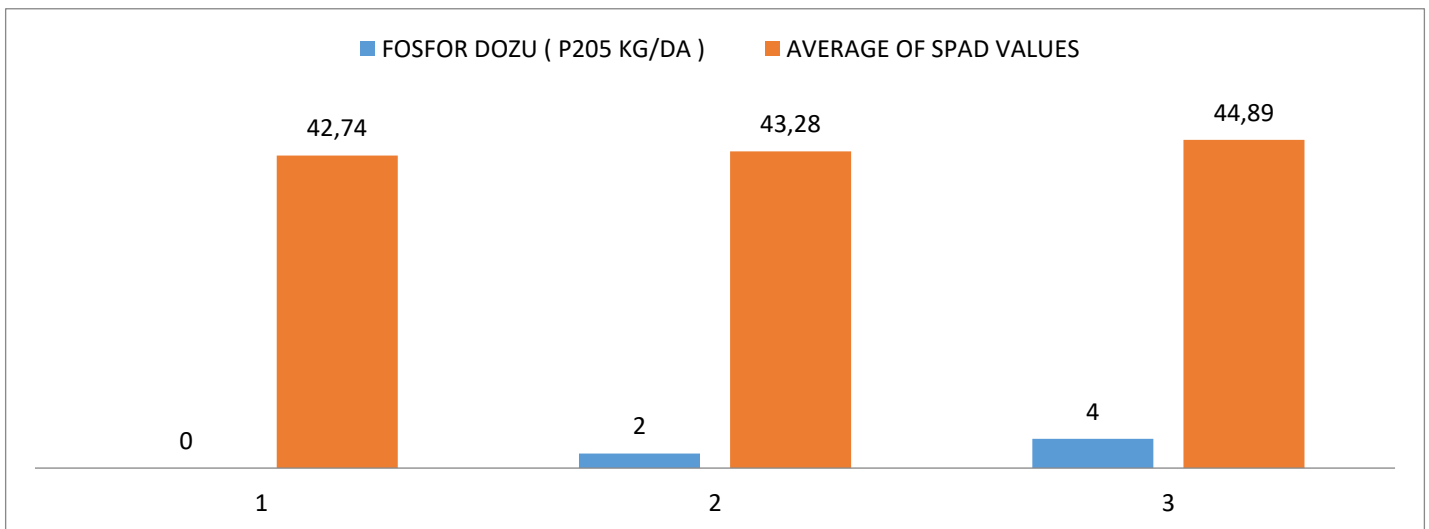


Figure 8. The average of SPAD values of different P₂O₅ doses of non-bacterial plots

This study was to determine the effect of different doses of P₂O₅ on sesame chlorophyll content with the application of natural

P₂O₅ dissolving microbial fertilizer present in soil. SPAD values of P₂O₅ doses in the plots treated with microbial fertilization are given graphically in Figure 9. It can be seen in graph that, the highest SPAD value was 59.88 which was obtained at the third observations of 2 kg / da P₂O₅ application while the lowest value (18.13) was obtained at the last observation period where P₂O₅ was not applied. The amount of chlorophyll in plants decreased with aging. Hendry et al. (1987) reported that leaf chlorophyll level is directly related to plant stress and aging. In this study, it was found that increasing P₂O₅ application led to increase the mean SPAD values as shown in Figure 10 (43.86 –43.92 – 44.95). It was observed that the increased P₂O₅ application has limited effect on the chlorophyll content during the sesame flowering and capsule binding period, however, during the period when the capsules begin to mature, P₂O₅ application has higher SPAD values as it delays the breakdown of chlorophyll in leaves.

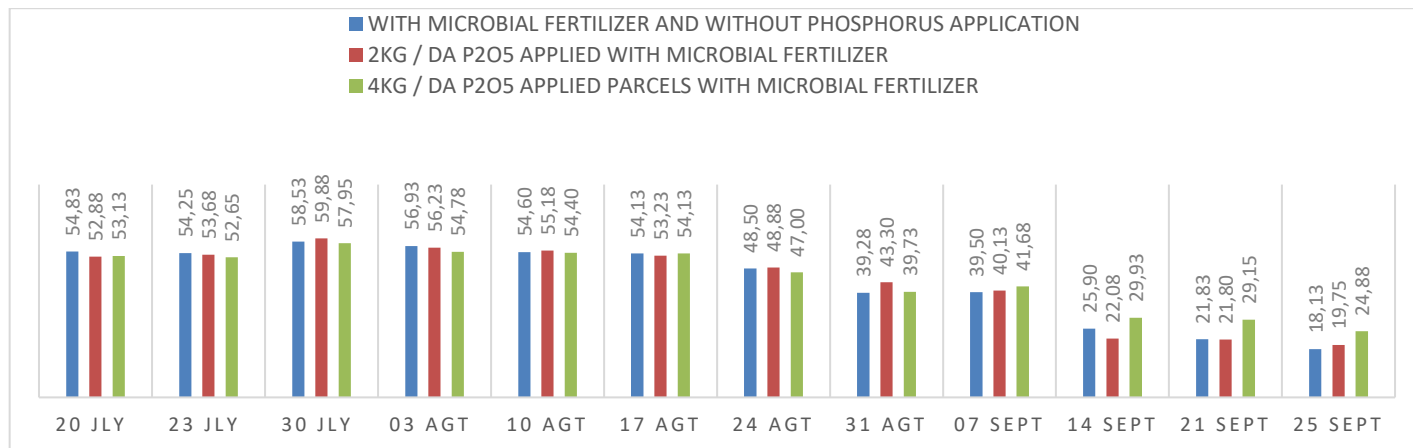


Figure 9. Different P₂O₅ doses of SPAD values in plots applied with microbial fertilizers

In this study, the effect of different doses of P₂O₅ on sesame chlorophyll content which is natural P₂O₅ microbial fertilizer dissolver in the soil was determined. SPAD values in the plots applied with microbial fertilization were higher as the P₂O₅ doses increased. Isame way, the SPAD values in the plots without microbial fertilizer application were higher as the P₂O₅ doses increased. When Table 4 was examined, the mean SPAD values in the plots with microbial fertilization were higher determined (44.24 – 43.64).

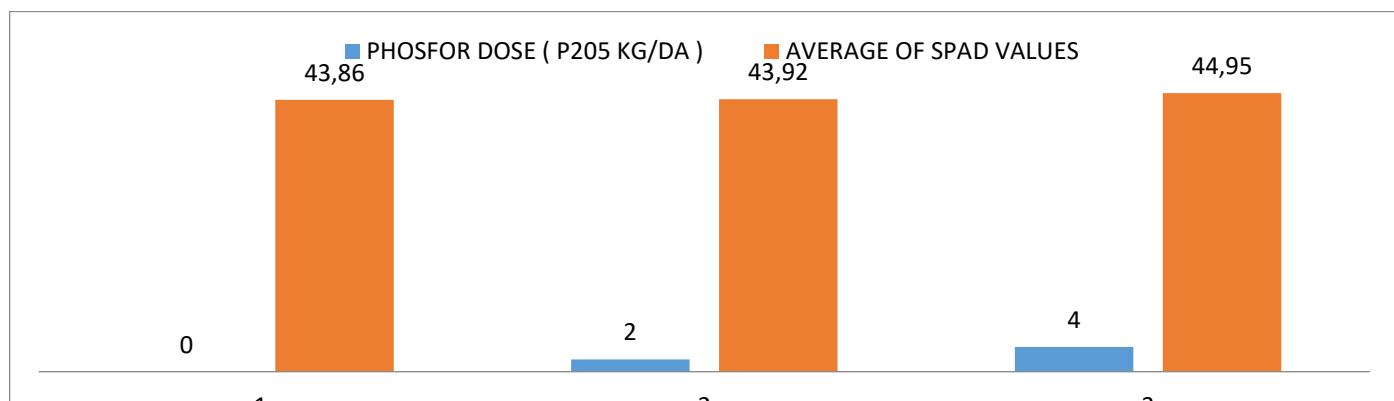


Figure 10. Mean SPAD values of different P₂O₅ doses in microbial fertilized parcels

Table 4. Meaning of SPAD according to Microbial Fertilization and P₂O₅ doses

P ₂ O ₅ Dosages Kg / Da	Without Microbial Fertilizer (SPAD)	With Microbial Fertilizer (SPAD)
0	42,74	43,86
2	43,28	43,92
4	44,89	44,95
Average	43,64	44,24

The average SPAD value of the plots applied with microbial fertilizers was found as 44.24, whereas the untreated plots were found as 43.64 (Table 4). The mean SPAD values of all P₂O₅ doses were higher in the plots with microbial fertilizer application (Table 4). Some microorganisms that colonize the root stimulate resistance to plant diseases, promote shoot and root growth, increase yield, increase resistance to abiotic stress conditions, promote nutrients intake and use, and increase photosynthesis (Inbar et al. 1994, Yedidia et al., 2001, Harman et al. et al. 2004, Harman 2006). Studies in this area have reported higher chlorophyll content, higher leaf water potential improvement capacity, clear photosynthesis capacity and better water absorption in plants infected with mycorrhizae (Wang 1989; Wang 1998). Mahmood (2015) determined that the main shoot dry weight and total number of leaves per

plant has being increased in the trial of applying *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* to Merlot seedlings 2 times. In this study, it was seen that SPAD values of the last observations were close to each other and the range of change was low. These results may help to determine the harvest time in plants with simultaneous problem of death such as sesame. The SPAD values in this study indicate that sesame seeds can be harvested from the 2nd week of September in the autumn season within our region.

4. Conclusion

As a macro element for plants, P₂O₅ is mixed into soil as fertilizer in case of deficiency. The studies that will increase the usefulness of P₂O₅ requirements to field crops and plants should be among the important research subjects especially in the countries where P₂O₅ are supplied by import. This study was carried out in order to determine the effect of P₂O₅ and microbial fertilization on chlorophyll content in the seeds of sesame which is useful oil plant in a semi - arid region of Central Anatolia conditions. In this study, portable chlorophyll meter device was used to determine the changes in chlorophyll content from the beginning of flowering to harvest of sesame cultivated on plots that are treated with different doses of P₂O₅ and microbial fertilizer. As a result, it was determined that increasing P₂O₅ doses increased the chlorophyll content in sesame. Similarly, microbial fertilization was found to increase chlorophyll content by increasing the usefulness of increasing P₂O₅ doses in sesame. In addition, SPAD values can be used to determine harvest time in plants that do not exhibit concurrent effects such as sesame. However, there is a need to increase this type of studies for more information.

References

- Anonymous 2018. FAOSTAT. 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Arioğlu, H.H., 2007. Oil Crops Cultivation and Breeding, Cukurova University General Publication No: 220, Text Books Publication No: A-70, 204, Adana.
- Curran, P.J., J.L. Dungan, and H.L. Gholz. 1990. Exploring the relationship between reflectance red edge and Chl content in slash pine. *Tree Physiol.* 7:33–48.
- Celebi, M., Tulukcu, E., Saglam, C. 2011. " Determination of Some Properties of the Soils of Akoren District by Soil Analysis "2. International 6. National Vocational Schools Symposium. 182-186 pp., Kuşadası / Aydın / Turkey,
- Harley J L, Smith HSE (1983). Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press Inc. London and New-York. 483p.
- Harman GE, Howell CR, Voterbo A, Chet I, Lordto M (2004). *Trichoderma* Species: opportunistic, a virulent plant symbionts. *Nat Rev Microbiol.* 2: 43-56.
- Harman GE (2006). Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96: 190-194.
- Hendry, G.A.F., J.D. Houghton, and S.B. Brown. 1987. The degradation of chlorophyll-A biological enigma. *New Phytol.* 107:255–302.
- Inbar J, Abramsky M, Cohen D, Chet I (1994). Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. *European J. Pl. Pathol.* 100: 337-346.
- Mahmood MN (2015). Effects of different doses of biofungicide and its doses on seedling properties applied to seeds of grape varieties grafted on 110R rootstocks. Master's Degree, Namık Kemal University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Tekirdağ. whereas in 146.¹
- Nayar, N.M., 1984. Evolution of crop plants. In: N.W. Simmonds (Editor). Longman, pp. 231-233, London.
- Saharan B S, Nehra V (2011). Plant growth promoting Rhizobacteria: A critical review. *Life Sci Med Res.* 2011: 1-30.
- Sylvia DM, Williams SE (1992). Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. mycorrhizae in sustainable agriculture Eds: GJ Bethlenfalway, RG Linderman. ASA Special Publication, Madison, Wisconsin, pp: 101-124.
- Sylvia D M. (1999). Fundamentals and applications of arbuscular mycorrhizae: A biofertilizer perspective. pp. 705-723. In *Soil Fertility, Biology, and Plant Nutrition Interrelationships*. J.O. Siqueira et al. (eds.). Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS.
- Tulukcu E. 2013. "Some Medical Plants cotyledon chlorophyll content of leaves "10.Tarh Crops Congress Konya / Turkey
- Tulukcu E. 2013. "Traditional Production Of Tahini And Sesame Cultivation In Konya" The 2nd Traditional Foods From Adriatic to Caucasus. TFP 1803, ISBN: 978-605-4265-25-1 470 pp., Ohrid– Struga/Macedonia.
- Wang, C.L., 1989. Effects of endomycorrhizae on the growth and yield of adzuki bean (*Phaseolus angularis*). *Journal of the Agricultural Association of China, New series*, 148: 67-80.
- Wang, C.L., 1998. Response of *Phaseolus angularis* weight. Inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *Journal of the Agricultural Association of China, New series*, 181: 92-101.
- Yedidia I, Srivastva AK, Kapulnik Y, Chet I (2001). Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. *Plant Soil.* 235: 235-242.
- Yılmaz, A., Boydak, E., Beyyavaş, V., Cevheri, İ., Haliloğlu, H., Güneş, A., 2005. Second Crop Ecology in Sanliurfa Some Sesame (*Sesamum indicum* L.) Varieties and Lines Grown Up Investigation of Facilities, Turkey v1.tarlabitkilerikongre, Volume I, p. 425- 429, Antalya.
- Yonsel S, Batum MS (2007). Microbial Fertilizers. [http://www.simbiyotek.com/Mikrobiyal_ Gubreler_yonsel.pdf](http://www.simbiyotek.com/Mikrobiyal_Gubreler_yonsel.pdf) (Erişim tarihi: 10.05.2015).



Bankacılık Sektöründe Yeni Özniteliklerle ve Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Müşteri İlişkileri Yönetiminin Zenginleştirilmesi

Faruk Bulut *¹

¹ Haliç Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2960-8725)

(İlk Geliş Tarihi 31 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 15 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.520295)

ATIF/REFERENCE: Bulut, F. (2019). Bankacılık Sektöründe Yeni Özniteliklerle ve Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Müşteri İlişkileri Yönetiminin Zenginleştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 382-394.

Öz

Bir banka müşterilerinden kendilerini tanımlayıcı detaylı kişisel verileri kolaylıkla alamayabilir. Fakat müşteriler zaman içerisinde, davranışsal özellikleri ve yaşamsal alışkanlıkları ile ilgili birçok bilgiyi farkında olmadan banka ile paylaşırlar. Bu bilgiler sadece bir birey için yüzlerce, hatta binlerce olabilir. Milyonlarca bireysel ve kurumsal müşterisi olan bir bankanın tüm müşterilerine ait belirli kategorilerdeki bilgileri milyarlarca ulaşabilir. Milyonlarca müşterisi olan büyük kuruluşlar genel olarak Bilgi Teknolojileri alanında “veri zengini ve bilgi yoksunu” olarak nitelendirilirler. Bu işlenmemiş veriler içerisinde müşteriler ve piyasa hakkında gizlenmiş birbirinden farklı oldukça fazla değerli bilgiler bulunabilmektedir. Veri Bilimi esasen bu gizli bilgileri ham veriler içerisinde çıkarmayı amaçlar. Bu çalışmada, kurumsal ve bireysel müşterilerin sayısal verilere dönüştürülebilen farklı yaşamsal ve davranışsal alışkanlıklarının neler olabileceği ile ilgili önerilerde bulunulmuştur. Bu veriler ile piyasanın daha iyi analiz edilmesi, müşteri segmentasyonunun daha iyi yapılması, hizmet ve ürünlerin doğru müşteri kitlelerine daha az emek ile satılmasını amaçlayan yapay zekâ tabanlı bir sunulan Müşteri İlişkileri Yönetimi yani CRM (Customer Relationship Management) uygulamasının yapısı önerilmektedir. Projede bilişim alanındaki Veri Madenciliği disiplinlerinde bulunan algoritmalar kullanılarak özgün bir yapay destek modelinin önerilmesi amaçlanmaktadır. Farklı veri madenciliği uygulamaları ve süreçlerin tanımlanmasıyla bankacılık ve müşteri ilişkileri yönetimi alanına yeni bir perspektif kazandırılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Müşteri Tanıma, Bankacılık Sektörü, CRM, Makine Öğrenmesi.

Enriching Customer Relationship Management with New Attributes and Machine Learning Methods in Banking Sector

Abstract

A bank may have difficulty in acquiring detailed personal information from their clients. Over time, however, customers share a variety of information about their behavioral characteristics and life habits with the bank. This information for people can be hundreds or even thousands. It can reach billions of information in certain categories of all customers of a bank with millions of individual and corporate clients. Large organizations with millions of customers are generally referred to as “rich in data rich and lack in knowledge” in the field of Information Technology. This unprocessed data might contain many valuable information that is hidden from customers and the market. There might be a lot of valuable hidden information about both customers and market. Data Science essentially aims to extract this confidential information from raw data. In this study, suggestions have been made about the different vital and behavioral habits of institutional and individual customers which can be converted into numerical data. With this data, the structure of CRM (Customer Relationship Management), an artificial intelligence-based system which aims to better analyze the market, better

* Sorumlu Yazar: Haliç Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2960-8725), farukbulut@halic.edu.tr

customer segmentation, and offer services and products with less labor to the right customers, is recommended. In this project, it is aimed to propose an original artificial support model by using algorithms in Data Mining disciplines. With the identification of different data mining applications and processes, we have tried to give a new perspective to the field of banking and customer relationship management.

Keywords: Customer recognition, Banking sector, CRM, Machine Learning.

1. Giriş

Bilişim dünyasındaki yazılımsal ve donanımsal gelişmeler finansal alandaki iş, ticaret ve kârlılık gibi birçok kavramın değişmesine neden olmuştur. Özellikle milyonlarca müşterisi olan ve bu müşterilere ait milyarlarca işlenmemiş ham verilere sahip bankalar bilişim odaklı çözümlere daha çok önem verir olmuştur (Zerbino vd., 2018).

Veri madenciliği, mevcut veri yığınlarından işe yarayacak önemli bilgileri çıkarmak ve bankacılık sektöründe daha iyi kararlar alabilmek için kullanılan bir araçtır. Verilerin toplanabilmesi ve veri ambarının oluşturulabilmesi için veri tabanlarındaki çeşitli verilerin uygun bir biçimde birleştirilmesi ve hazırlanması gerekir (Nguyen vd., 2018). Kuşkusuz, veri madenciliği birçok alanda kullanılmaktadır. Tıbbi sonuçları analiz etme, kredi kartı dolandırıcılığını tespit etme, müşteri satın alma davranışını tahmin etme, Web kullanıcılarının kişisel çıkarlarını öngörme, üretim süreçlerini optimize etme gibi alanlarda pratik uygulamaları çok başarılı olmuştur (Amani vd., 2011).

Bankacılık, milyonlarca kişi ile uğraşan ve milyarlarca TL işlem hacmi olan oldukça büyük ve karlı bir sektördür. Teknolojinin donanımsal ve yazılımsal olarak ilerlemesinin ardından 4. Jenerasyon Sanayi 4.0'ın bu alanda somut uygulamaları her alanda görülmektedir (Tam vd., 2017).

Bankalar veri açısından oldukça zengin kurumlar arasında kabul edilir. Burada asıl amaç işlenmemiş yüz milyonlarca ham etiketli veriden değerli, işe yarar bilgilerin elde edilmesidir. Veriler, herhangi bir şirketin en değerli varlıklarından biri olabilir, ancak yalnızca ham verilerde bulunan değerli bilgilerin nasıl açığa çıkarılacağı bilinmelidir. Veri madenciliği, tarihsel veriden bilgi elmaslarının çıkarılmasına ve gelecekteki durumların sonuçlarının tahmin edilmesine olanak tanır. Veri madenciliği bu durumda, iş kararlarını optimize etmeye, her bir müşterinin ve iletişimin değerini artırmaya ve müşteri memnuniyetini artırmaya yardımcı olur. Veri madenciliği, daha önce bilinmeyen bilgilerin tipik olarak desenler ve dernekler şeklinde geniş veri tabanlarından çıkartılması işlemidir. Bankalar veri madenciliği ile sağlanan birçok avantajı fark eder. Toplanan büyük miktarda veriden potansiyel olarak yararlı bilgileri belirleyerek değerli bir araçtır. Bir banka, iyi bir veri madenciliği destekli CRM uygulaması ile rakiplerine karşı açık bir avantaj kazanabilir (Kasemsap vd., 2018).

Müşteri ilişkileri yönetimi (CRM), müşteriler ile uzun süreli ilişkiler kurulmasına, gelirlerin ve kazançların artırılmasına yardımcı olan bir stratejidir. CRM, bankacılık sektöründe daha da fazla bir öneme sahiptir. CRM'in odağında, müşteri kazanımından müşteri sadakatine geçmekte ve zaman, para ve yönetim kaynaklarının uygun miktarlarının bu kilit görevlerin her ikisine de yönlendirilmesini sağlamaktadır (Hasan, 2018).

Müşterinin firmaya olan bağlılığın devam ettirilebilmesi için çeşitli önlemlerin alınması, gerekli hizmetlerin sunulması ve olası memnuniyetsizliklerin giderilmesi gibi faktörlere dikkat edilmesi gereklidir. Bu nedenle çalışmamızda CRM konusunda müşterilere ait kullanılabilecek etkin özelliklerin belirlenmesi ve etkin modellerin inşa edilmesine olanak sağlamaya çalışma vardır.

Yaşanılan rekabetçi ortamda müşterilerin ihtiyaçlarına uygun bankayı birçok seçenek içerisinde bulabilmesi hiç de zor değildir. Bankaların mevcut müşterilerinin ihtiyaçlarını karşılayamaması durumunda müşteri kaybetmeleri kaçınılmazdır. Bu nedenle bankacılıkta CRM uygulamalarının veri bilimi ile desteklenmesi gerekmektedir. CRM uygulamaları temel olarak dört aşamadan oluşmaktadır (Anshari vd., 2018).

1. Müşteri tanımlama (Customer Identification)
2. Müşteri Çekme (Customer Attraction)

Müşteri tanımlama aşamasından sonra yapılabilecek bir işlemdir. Hedef müşteri kitlesine bire bir münasebet ile Müşteri Tanıma aşamasında yapılan işlemlerle belirlenen en uygun ürünlerin satılması (Direct Marketing) sağlanacaktır. Bu bankanın yapacağı bir çalışmadır.

3. Müşteri Koruma (Customer Retention)

CRM uygulamalarının esas odağı mevcut müşterilerin korunması amacını gütmektedir. Müşteri memnuniyetinin sağlanması, müşteri memnuniyet derecesinin belirlenmesi bu sayede yapılabilir. Bu alan daha çok bankayı ilgilendirdiği için detaylara giremiyoruz.

4. Müşteri Geliştirme (Customer Development)

Müşteri sayısının artırılması olarak da tanımlanabilir.

CRM uygulamalarında karşılaşılabilecek problemler şu şekilde sıralanabilir:

- Milyonlarca müşteri

- Her bir müşteriye ait binlerce işlenmemiş ham veri
- Çok veri az bilgi
- Zayıf ve yetersiz tahminler
- Karlılık oranının olması gerekenden düşük olması
- Kişiyeye özgü çözüm eksikliği
- Yetersiz ve eksik sektör analizi
- Zamana ve mekâna bağlı olmayan genel değerlendirme ve çözümler
- Müşteriye uygun olmayan ürünün sunulması
- Müşteri gereksinim analizinin eksik veya hatalı yapılışı

Tanımlanan bu probleme karşı önerilebilecek çözümlerin neler olacağı ise şu şekilde sıralanabilir:

- Bireysel bazlı çözümler
- Sektörel analizlerin doğruluğu
- Mekânsal ve zamansal çözümlerin doğruluğu
- Veri ambarlarında gizli bulunan değerli bilgilerin açığa çıkarılması (Veri Madenciliği)
- Karlılık oranının artırılması
- Dikey büyümenin temin edilmesi
- Spesifik bir ürünü alacak doğru müşteri ile temasa geçilmesi. Kısaca doğru bir şekilde ürün-müşteri ikilisinin oluşturulması
- Daha az gayret ile daha fazla kazanç.

Banka yönetiminin müşteriye tanımlayan genel öznitelikleri (yaş, cinsiyet, gelir, iş bilgisi vs.) dikkate alarak olası potansiyel müşteri gruplarını belirlemesi ve sıra ile bu gruptaki müşterilere ulaşarak ürün veya hizmet satmak istemesi doğru bir strateji olmayabilir. Bazen de banka çalışanının temel grupta olamayan müşteriye ulaşip ürün veya hizmet satmak istemesinin birçok olumsuz yönü olabilir. Hem müşteride oluşan imajda hem de bankada oluşan olumsuz sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Müşteride bankaya karşı iticilik oluşturma
- Müşterinin gereksiz yere rahatsız edilmesi
- Müşterinin saldırgan ve kızgın davranış sergilemesine neden olma olasılığı
- Banka personelinin gereğinden fazla mesai harcaması
- Banka personelinin yanlış müşteri kitlesi ile muhatap edilmesi
- Mesai ve kaynak israfı vs.

CRM (Customer Relationship Management) uygulamalarında segmentasyonun (müşteri kümeleme, bölümlendirme) sunduğu en büyük fayda temel müşteri grubunu doğru belirlemektir. Segmentasyon ile aynı zamanda pazarın durumu, hedef müşteri kitlesi, mevcut ve olası tüketici grupları, satış hedefi, satış tutarı gibi bazı analizlerin yanı sıra pazarlama stratejilerinin de yapılması sağlanabilir. Ayrıca segmentasyon yapılırken amaç sistemin ölçülebilirliğinin sağlanması, yüksek kâr elde edilmesi, en az maliyet en fazla kazanç oranının sağlanması, sürdürülebilir olması ve belirlenen hedef müşteri gruplarının kendi içinde homojen bir yapıda olmaları gibi öğeleri içermelidir (Das vd., 2019).

Pazar ve müşteri segmentasyonu ile banka, benzer müşterileri hedef almış olur. Banka, Coğrafi Segmentasyon (yaşanılan semt, çalışılan iş yeri konumu) ve Demografik Segmentasyon (yaş, cinsiyet, meslek) ile hedef müşteri grubunu belirlemeye çalışabilir. Nitekim bu guruplar içerisinde de potansiyel ve hedef müşteri grubuna girmeyen birçok kişi olabileceği gibi bu gurupların dışında da çokça temel müşteriler olabilir.

Çalışma müşteriye ait davranışsal ve yaşamsal özelliklerin segmente edilmesi temeline dayanmaktadır. Kısaca sunulan bu projede Müşteri Tanı Sisteminin geliştirilmesi, müşteri segmentasyonunun en iyi şekilde yapılabilmesi, belirli bir ürünü veya hizmeti doğru belirlenmiş hedef müşteri grubuna daha az emek ile satmaya dayanan Karar Destek Sisteminin (Decision Support System) için uygun ortamın oluşturulması amaçlanmıştır. Projede genel amaç müşteri sayısını artırmak değil, var olan müşteriler ile banka kârlılık oranının artırılması için gerekli sayısal verilerin nasıl hazırlanacağına ilişkin ortamın oluşturulmasıdır. Maksat bir veri madenciliği algoritmasının belirli bir veri seti üzerinde denenmesi ve elde edilen sonuçların irdelenmesi ve diğer uzaman sistemlerle kıyaslanması değildir. Amacımız test model önermek, bu konuda sektörü bilgilendirmek ve belirli bir prototip çalışma ile ileri aşama uygulamalara yardımcı olmaktır.

Makalenin bundan sonraki kalan kısmında dört bölüm daha vardır. Takip eden ikinci bölümde yapılan literatür taraması, üçüncü bölümde banka müşterilerinin daha farklı tanınması ve tanımlanması için önerilen farklı tanımlayıcılar bulunmaktadır. Sonraki bölümde önerilen projenin somut uygulama alanları ve elde edilebilecek getirilerinin neler olabileceğine yer verilmiştir. Makine öğrenmesi ve veri madenciliği alanındaki yöntemlerin bankacılık sektörüne nasıl uyarlanabileceği ile alakalı teorik ve açıklayıcı bilgilere yer verilmiştir. Son bölümde de özete ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

2. Benzer Çalışmalar

Bilgi teknolojileri kullanılarak bankacılıktaki CRM alanında hem akademik çalışmalar vardır hem de ticari uygulamalar vardır. Bu alanda yapılan çalışmalar iki farklı başlık altında incelenmiştir.

2.1. Akademik Çalışmalar

Literatürde 2010 yılından bu yana yayınlanmış bulunan 23 adet araştırma makalesi, 31 konferans ve sempozyum bildirileri, 4 doktora ve yüksek lisans tezleri ile 2 kitap çalışmaları bir araya getirilmiş ve içeriklerinden değerli bulunan çalışmalar incelemeye tabi tutulmuştur. Bu çalışmaların çoğu birbirleri ile benzerlik göstermektedir. Bu çalışmalardan bir kaçının açıklamaları kronolojik sıralamayla yapılmıştır.

Tsiptsis ve arkadaşı 2010 yılında “Data Mining Techniques in CRM: Inside Customer Segmentation” isimli bir kitap hazırlamışlar ve kitaplarında Veri Madenciliği ile CRM uygulamaları, Veri Madenciliği teknikleri, müşteri gruplandırma, telekomünikasyon sektöründe ve perakende satış piyasasında müşteri ve ürünleri kümeleme çalışmalarından geniş bir şekilde bahsedilmiştir (Tsiptsis vd., 2010). Kitabın 6. bölümü ise bankacılıkta CRM ve veri madenciliği uygulamalarına ayrılmıştır. Bu bölümde detaylı olarak bankacılıkta gruplara ayırma, kredi çekimleri, ATM cihazlarının kullanımı, kredi kartı kullanımı gibi veriler sayesinde veri setinin nasıl oluşturulacağı, madencilik algoritmalarının nasıl kullanılacağı gibi detaylardan bahsedilmektedir. Daha çok finansal alanda hangi veriler ile hangi bilgi elde edilir başlığı altında somut uygulamalara yer verilmiştir.

2011 yılında Vivek Bhambri isimli bir araştırmacı Veri Madenciliği yöntemlerinin bankacılıkta kullanılan yöntemlerini genel olarak özetlemiş ve somut uygulamaların neler olduğunu göstermiştir (Bhambri, 2011). Sınıflandırma, kümeleme, ilişkilendirme gibi Veri Madenciliği yöntemlerinde neler yapıldığını anlatmıştır. Ayrıca Veri Madenciliği tekniklerinin bankalara ve finansal kurumlara, daha iyi hedef belirlemede, yeni müşteri edinmede, dolandırıcılık tespitini gerçek zamanlı olarak gerçekleştirmede, müşterilere için segment tabanlı doğru ürünler sunmada, müşterilerin satın alma modellerini analiz etme gibi farklı CRM konularında yardımcı olabileceğini önermiştir. İlgili sektördeki CRM, Pazar, risk yönetimi, sahtecilik, yazılımsal destekler konusunda toparlayıcı bilgiler vermiştir. Aynı araştırmacı Krishan ile birlikte aynı yıl stratejik CRM uygulamalarını veri madenciliği teknikleri ile farklı bir çalışmada anlatmıştır (Chopra vd., 2011). Bu çalışma bir öncekinin uygulaması niteliğindedir.

Oliveira, 2012 yılında veri madenciliği destekli analitik CRM üzerine kapsamlı bir doktora tezi hazırlamıştır (Oliveira, 2012). 2012 yılına kadar bu alandaki en kapsamlı çalışmanın Oliveira tarafından İspanya’da yapılan ve İngilizce dilinde hazırlanmış olan bir doktora tezi olduğu görülmektedir. Oliveira, bu çalışmasında perakende satış sektöründe veri madenciliği uygulamasının yapılabilmesi için öncelikle sektörün iyi analiz edilmesi gerektiğini belirtmiş ve müşterilerin nasıl karakterize edilmesi gerektiği konusunda öneriler sunmuştur. Müşterilerin yaşam tarzlarına ve davranışsal özelliklerine göre nasıl gruplara ayrılacağını belirtmiştir. Müşterilerin rakip firmalara kaptırılmaması için oluşturulabilecek tahmin modellerinin neler olabileceği vurgulanmıştır.

Ellaban, 2013 yılında hazırladığı bir yüksek lisans tezinde, bankacılık ve telekomünikasyon sektöründe CRM’in detaylarını endüstri mühendisliği disiplini içerisinde değerlendirerek veri madenciliği yöntemleri ile neler yapılabileceğini listelemiştir (Ellaban, 2013). CRM’in dört temel boyutu olan Müşteri tanımlama (*customer identification*), müşteri çekme (*customer attraction*), müşteri koruma (*customer retention*), müşteri geliştirme (*customer development*) üzerine veri madenciliği uygulamalarının neler olabileceği hakkında detaylı açıklamaları kaynakçalar eşliğinde anlatmıştır.

Jayasreeve arkadaşı 2013 yılında o ana dek “A review on data mining in banking sector” isimli bir çalışma ile literatür taraması yapmışlardır (Jayasree vd., 2013). Bankacılık, risk yönetimi, dolandırıcılık tespiti, kârlılık oranı tespiti gibi başlıklar altında yapılan çalışmaları incelemiştir.

Sharahi ve Aligholi 2015 yılında özel bir bankadan aldıkları sınırlı bir veri tabanı ile 60 kadar kurumsal banka müşterisi hakkında veri madenciliği uygulamaları yapmışlardır (Sharahi vd., 2015). Şirketlere ait öznitelik olarak da şirket türü, şirketin çalışma alanı, banka ile çalışma süresi, kredi geçmişi, çekilen kredi türleri, çekilen toplam kredi miktarları seçilmiştir. K-means metodu ile veri seti üzerinde kümeleme yaparak müşterileri çeşitli gruplara ayırmışlardır. Çeşitli sayılarda gruplara ayrılan firmalar kendi içlerinde gösterdikleri karakteristik özellikler manuel olarak incelenerek banka stratejisinin belirlenmesi amacıyla çeşitli tavsiyelerde bulunulmuştur.

2015 yılında Bahari ve Elayidom tarafından hazırlanan bir araştırma makalesinde, müşterilerin davranışlarını önceden kestirmeye yönelik bir CRM – Veri Madenciliği uygulaması yapılmıştır (Bahari vd., 2015). Çalışmalarında Irvine’deki California Üniversitesinin ortak kullanıma sunduğu UCI veri setlerinden bankacılık ile ilgili olanı tercih etmişler (Moro vd., 2011) ve Pratik bir kaç uygulama yapmışlardır. Veri setinde, Portekiz’de bulunan 17 bankanın 2008-2010 yılları arasında 79.354 müşteri hakkında elde ettiği veriler vardır. Her bir müşteriye ait 58 öznitelik bulunmaktadır. Fakat bu verilerden 45.211 müşteri ve 16 öznitelik seçilmiştir. Müşterilerin birikimlerini uzun vadeli olarak çalıştıkları bankada tutup tutmayacakları ile ilgili banka çalışanları tarafından telefon ile aranmış ve sözlü olarak kontrat yapılmak istenmiştir. Müşteriler teklifi ya kabul etmiş ya da reddetmiştir. Verilen bu kararlar veri setinin etiketi olarak belirlenmiştir. Ayrıca veri setinde her bir müşteriye ait 16 adet öznitelik bulunmaktadır. Bunlar müşterinin demografik

özellikleri, yıllık ortalama işlem hacmi, meslek türü, borç ödeme durumu, müşteri ile son görüşme tarihi, müşterinin bankaya olan borç durumu gibi özniteliklerdir. Sadece Naïve Bayes ve Neural Networks sınıflandırıcılarını kullanarak hazır veri seti üzerinde doğruluk (*accuracy*), hassasiyet (*sensitivity*) ve netlik (*precision*) testlerini yine hazır bir uygulama olan Weka yazılım ortamında yapmıştır. Çalışmasında Neural Networks'in daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu çalışma hazır veri seti üzerinde yapılmış deneysel uygulamaların ve karşılaştırmaların yapıldığı bir çalışma olmuştur.

Mitik'in 2016 yılında sunduğu bir konferans bildirisinde bankaya ait ürünlerin nasıl pazarlanması gerektiği ile ilgili veri madenciliği tabanlı bir satış stratejisi önerilmiştir (Mitik vd., 2016). Çalışma iki aşamada yapılmıştır. İlki müşterilerin doğru kümelerle ayrılması ve sonra ürün ve iletişim kanalları ile ilgili bir sınıflandırma modelinin ortaya konulmasıdır. Sunulan ürünler hakkında doğrudan bilgilendirme ve satış kanallarının müşteri karakteristiğine uygun seçilmesi gerektiği hipotezi ile sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Müşteri ile 3 farklı kanaldan (telefon, SMS mesajları ve e-posta) iletişime geçilebileceği gerçeği ile çalışmasını yapmış ve umut vadeden sonuçlar alındığını göstermiştir.

John, 2016 yılında gerçek zamanlı olarak dolandırıcılık tespitinin nasıl yapılabileceği üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir (John vd., 2016). Sigorta, kredi kartı ve hesaplar üzerinde yapılan dolandırıcılıklar içerisinde veri madenciliği teknikleri ile hangi belirtilerin dolandırıcılık girişimini işaret ettiğini belirlemeye çalışmışlardır.

Amania ve Fadlallah tarafından 2017 yılında yayınlanmış olan çalışmada finansal alanda veri madenciliğinin teorik yaklaşımlarından ve pratik uygulamalarından bahsedilmiştir (Amani vd., 2017). Öncelikle veri madenciliği teknikleri kategorilere ayrılıp açıklanmış ve finansal sektörün içeriği tanımlanmıştır. Kullanılan madencilik teknikleri ile bankacılık alanında tespit, tahmin ve reçetelendirme aşamalarının nasıl olacağı anlatılmıştır. Ayrıca bankacılık alanında değerli bilgilerin nasıl elde edilebileceği konusunda teorik yöntemler bilimsel bir dille açıklanmıştır.

Birçok çalışma veri madenciliği tabanlı CRM alanına yeni bir yaklaşım getirmekten ziyade tekrar niteliğindedir. Bu alandaki birçok çalışmanın bir birine benzediği, birinin diğerlerinden anlatım farklılıkları olduğu görülmüştür.

2.1. Ticari Uygulamalar

Bu alanda faaliyet gösteren yazılım firmalarının dünya genelinde çok da fazla olmadığı görülmektedir. Yapılan araştırmalara göre yaklaşık olarak 21 firma bu alanda hizmet sunmaktadır. Bu firmaların 12 tanesi ABD'de 5 tanesi de Avrupa Birliği ülkelerindedir. Genel olarak bankalar kendi içlerinde bir birim kurarak konusunda uzman bilişim personelini istihdam etmektedir. Bankalar genel olarak müşterilerine ait gizli kalması gerektiğini düşündüğü özel bilgilerin, işlem hacimlerinin, mali yapılarının ve hitap ettiği sektöre ait detaylı verilerin başka yazılım firmaları tarafından elde edilmesini istememektedir. Gerçi bu tür yazılım firmaları her ne kadar verilerin kendi firmaları tarafından yedeklenmediğini, ulaşılmadığına garanti verse de bankalar bu konuda oldukça dikkatli davranmaktadır. Hatta bu konuda yeri gelmişken işe yarayabilecek bir tavsiye de şu olabilir: bankalar müşterisini tanımlayıcı kimlik bilgileri ile veri madenciliği işlemleri yapmak yerine her bir müşterisine sadece bu iş için kullanılacak bir tanımlayıcı numara verebilir. Yazılım firmaları da sadece bu numaralar üzerinden işlem yaparlar.

StatSoft firmasının dünyaca ünlü yazılımı STATISTICA Data Miner (Statistica, 2019) bu alandaki en bilinen ve yaygın olan yazılımdır. Eş zamanlı olarak çalışan ve görsel sonuçlar sunan bu yazılım farklı veri tabanları ile senkronize çalışabilmektedir. İlişkisel veri tabanları, Oracle, DB2, MySQL, Teradata, SAP, Hadoop, OSI PI, LIMSs (*Laboratory Information Systems*) ve MESs (*Manufacturing Execution Systems*) gibi sistemlere uyumludur. Ayrıca STATISTICA C#, C/C++, Java ve VB.NET gibi programlama dilleri ile etkileşim içerisinde olabilir. Ekseriyet finansal kuruluşlar için tasarlanan bu yazılım, sahtecilik ve dolandırıcılığın tespit edilebilmesi, risk durumlarının anlaşılması, sofistike ve otomatik risk modellerinin oluşturulması, homojen müşteri gruplarının tahmin ve tespit edilmesi, ikili indikatörler arasında bulunan ve tahmin edilmesi zor korelasyonların bulunması gibi temel özelliklere sahiptir. Yazılım paketi içerisinde farklı bölümler vardır.

Örneğin, *STATISTICA Data Miner's General Classifier and Regression Tool* isminden de anlaşılacağı müşterileri sınıflara veya gruplara ayırmak için kullanılan bir araçtır. Ayrıca genel sınıflandırıcısı ve regresyon araçlarıyla müşteri davranışını öngörme, en kârlı ve sadık müşterilerinin kimler olduğunu tespit etme, kimlerin borçlarını vaktinde ve tam ödeyebileceğini kestirmeye yardımcı olur. *STATISTICA Data Miner's Cluster Analysis Tool* aracı, veriler içerisindeki gizli bulunan şekilleri, kümeleri ve kalıpları bulmak için kullanılır. Bu araç içerisinde Generalized EM (*Expectation Maximization*) ve K-means gibi çeşitli kümeleme algoritmaları vardır. *STATISTICA General Neural Networks Explorer* modülü ise gelişmiş analizler ve Akıllı Sihirbaz (*Intelligent Wizard*) sayesinde gizli yapıyı tespit etme ve tahmin etme gibi araçları sunar.

Data Miner's Feature Selection and Variable Filtering modülü de PCA (*Principal Components Analysis*) ve Partial Least Squares gibi yöntemlerle en önemli değişkenleri ortaya çıkaran ve veri setini basit ve anlaşılabilir hale getiren özelliklere sahiptir. Ayrıca STATISTICA Data Miner, Bağlantı fonksiyonları ile Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Çoklu Regresyon, Yapay Sinir Ağı, ARIMA, Fourier Analizi ve bunun gibi gelişmiş özelliklerle çeşitli tahminler yapar.

STATISTICA yazılım paketi banka, bölge, ülke ve işlem hacmine dayalı bir fiyatlandırma politikası olduğu için bu firmadan alınacak hizmetin ücreti konusunda bir netlik yoktur. Ayrıca bu firmadan yazılıma ait talep edilecek ekstra niteliklerle yazılımın fiyatı değişmektedir. Yapılan araştırmalara göre tahmini yıllık kurulum, uyarılma, personel eğitimi, bakım, destek gibi anahtar çözüm masraflarının 2 milyon USD civarında olduğu görülmektedir.

Yeni Zelanda'da kurulmuş 11Ants Analytics Ltd (www.11antsanalytics.com) firması bilişim konusunda uzman olmayan personelin de kullanabileceği bir finans sektörüne güçlü ve yeni özellikleri olan yazılım sunmaktadır.

Data Mining with SAS® Enterprise Miner (www.sas.com) ürünü ise benzer bir şekilde yolsuzluk tespiti yaptığı gibi müşteri ve piyasa taleplerinin önceden tahmin edilebilmesine de yardımcı olmaktadır. Ayrıca bu firma, yaptığı ürün tanıtımında mevcut müşterileri korumayı da taahhüt ettiğini söylemektedir.

3. Müşteri Tanıma/Tanımlama İle İlgili Yeni Yöntemler

Banka müşterileri zaman içerisinde kendileri ile alakalı birçok veriyi bilerek ya da bilmeyerek banka ile paylaşır. Bu veriler mudilerin yaşamsal alışkanlıklarını, kişilik özelliklerini, hayat tarzlarını, mali durumlarını, alım güçlerini, yönelimlerini içermektedir. Bu veriler önerilen projenin temelini oluşturmaktadır.

Periyodik olarak müşteri bilgilerinin güncellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle verilerin dinamik bir yapıda olduğu ve doğal olarak da elde verilen sonuçlarla birlikte sistem tarafından önerilenlerin zamana bağlı olarak değişkenlik göstereceği bir gerçektir. Ayrıca oluşturulacak veri bütünlüğü (*data integrity*) sayesinde tüm işlemler kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir.

Müşteriyi en iyi tanımlama ve tanıma yöntemi müşteriden alınabilecek bilgilerle mümkündür.

Yeteri kadar veri olmadan hiçbir yapay karar destek sisteminin başarılı olması mümkün değildir. Ne kadar çok veri var ise o kadar doğru müşteri sınıflandırması ve kararlar verilir. Mümkün olduğu kadar müşteriye ait bilgilerin toplanması gerekmektedir. Elbette ki bu bilgiler önceden kategorize edilmelidir.

Banka müşterilerini Gerçek ve Tüzel olmak üzere iki sınıfa ayırıp bu kişilerin olası özelliklerini (öznitelikleri) ayrı ayrı inceleyelim.

3.1. Gerçek Kişiliklerin Öznitelikleri

İsim, yaş, cinsiyet, gelir bilgisi, çocuk sayısı, medeni durum, eğitim durumu, iş bilgisi, yaşanan semt gibi temel öznitelikler bir müşteriyi daha iyi tanımak ve tanımlamak için yeterli değildir. Mutlaka daha farklı ve detaylı verilerin de alınması gereklidir. Üzerinde çalışılması planlanan projede müşterilere ait olası öznitelikler şunlar olabilir:

- Sağlık durumu
- Davranış durumları:
 - Belirli bir zaman diliminde telefon bankacılığını kullanma sıklığı
 - Kullanım süresi
 - Gece veya gündüz kullanım durumu
 - İnternet bankacılığına bağlanma süresi
- Banka şubesinde bekleme süresi. Bu süre şubeye giriş ve işlem bitimine kadar geçen süreyi kapsamaktadır
- Banka şubesine gitme sıklığı
- Gidilen banka şubesinden müşterinin yaşadığı veya çalıştığı bölgenin tespiti
- Aylık ve yıllık işlem potansiyeli
- Bankamatik kullanım sıklığı
- Hangi şehirdeki ve semtteki bankamatikleri kullandığı
- Kredi kartı ile mekâna bağlı alışveriş hareketleri
- Kredi kartı ile zamana bağlı alışveriş hareketleri
- Kredi kartı ile alınan tüketim malzemeleri türü (Ek kredi kartı için de aynı analizler yapılabilir)
- Sanal kredi kartı kullanım miktarı, oranı
- Müşteri temsilcisini arama sıklığı
- Müşteri temsilcisini arama nedeni
- Bankaya E-posta gönderme sıklığı
- Bankaya E-posta gönderme nedeni
- Yazılı iletişimde ifade gücü, imla kurallarına uyup uymadığı vs.
- Hangi numaradan (şehir ya da cep numarası) aradığı
- Ses tonu ile kişisel özellik analizi (nazik, agresif, kaba, medeni, eğitimsiz vs.)
- Sosyal medya aracılığı ile ulaşım ulaşılmadığı

- Fatura ödeme türleri
- Ödemelerini ne düzende yapabildiği
- Hangi şubeleri ziyaret ettiği
- Şubeleri ziyaret etme nedeni
- Bankaya yaptığı şikâyetlerin türü
- Bankaya yaptığı şikâyetlerin nedeni
- Problemin hukuki süreçte olup olmadığı
- Şikayetvar.com gibi sitelere banka hakkında şikâyette bulunup bulunmadığı
- Bankadan alınan hizmet türleri
- Alınan hizmetlerden duyulan memnuniyet düzeyi
- Bankanın önerdiği ürün ve hizmetlerden hangilerini reddettiği
- Bankadan alınan ürün ve hizmet bilgileri ve türleri
- Müşteri temsilcisinin müşteriye tel ile arayıp ürün veya hizmet satmak istemesi karşısında müşterinin tutumu (Bu bilgi özellikle Makine Öğrenmesi ile yapılan sınıflandırma algoritmalarında kullanılabilir.)
- Kredi kartı ve diğer faturalarını düzenli ödeme niteliği
- Mobil cihazlar ile İnternet Bankacılığı kullanıyor mu?
- Kullandığı İnternet Bankacılığı servisleri
- Aylık İnternet Bankacılığı işlem kapasitesi
- Turist olarak yurt içinde nerelere gittiği
- Turist olarak yurt dışında nerelere gittiği
- Turistik gezilerinde kaç gün kaldığı ve ne kadar harcama yaptığı
- Ne sıklıkta tatile çıktığı
- Yaz turizme gidip gitmediği
- Kış turizme gidip gitmediği
- Yurt dışı turizme gidip gitmediği
- Akaryakıt alım sıklığı
- Hangi akaryakıt firmasından alışveriş yaptığı
- Birim zaman diliminde banka ile geçirdiği süre (Telefonda, şubede, webde)
- Vadesiz hesap miktarı
- Vadeli hesap miktarı
- Altın hesabı
- Son birkaç aylık veya yıllık mevduat ortalaması
- Son birkaç aylık veya yıllık işlem miktarı
- Son birkaç aylık veya yıllık işlem hacmi

Yukarıda bahsi geçen birçok özneliği alabileceği cevaplar kategorize edilmelidir. Ayrıca bazılarının cevapları ise reel sayılara dönüştürülmelidir. Elbette ki Makine Öğrenmesi gibi yapay zeka alanında elde edilen verilerin tamamı kategorize edilmiş nominal veya reel olmalıdır ki gerekli yapay karar destek sistemleri inşa edilebilsin.

3.2. Tüzel Kişiliklerin Öznelikleri

Gerçek kişilikteki özneliklerden uygun olanların seçilerek Tüzel kişiliklere ilave edilmesinin yanında olası diğer öznelikleri şunlar olabilir:

- Şirket kredi kartı harcama bilgileri
- Şirket kredi kartı ile harcama türleri

- Şirket kredi kartı ile harcama yapılan mekân bilgisi
- Şirket kredi kartı ile yapılan harcama miktarı
- Şirketin bankada bulunan nakit durumu
- Şirket çalışanlarına ödenen maaş bilgileri
- Şirket çalışan sayısı
- Şirket çalışanlarının yukarıda bahsedilen (Gerçek Kişilik Öznitelik) bilgileri
- Şirket araçlarının akaryakıt alım bilgileri

(alım miktarı, alım yapılan mekân bilgileri, alım sıklıkları)

- Şirket araç sayısı

Elbette ki gerçek ve tüzel kişilikleri tanımlayıcı çok daha fazla veri müşteriler tarafından farklı zaman, mekân ve durumlarda banka ile paylaşılmaktadır. Burada sadece bir prototip çalışma amaçlandığı için yukarıda listelenenlerin yeterli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca proje aşamasında kişilere ait her bir öznitelik sayısal değerlere dönüştürülecek, kullanılması uygun olmayan öznitelikler silinecek, temin edilemeyen veriler en uygun verilerle doldurulup sistemin sürekliliği ve çalışması sağlanmalıdır. Bu arada projenin *Big Data* alanına girdiğini belirtmekte fayda vardır.

Burada gerçek ve tüzel kişilere ait tanımlayıcı bilgilerin (özniteliklerin) fazla oluşu yapay öğrenme mekanizmaları için genel bir problem teşkil etse de, proje büyük veri kapsamında ele alındığında ve gerekli yazılımsal ve donanımsal araçlar da kullanıldığında başarılı sonuçların elde edileceği kesindir.

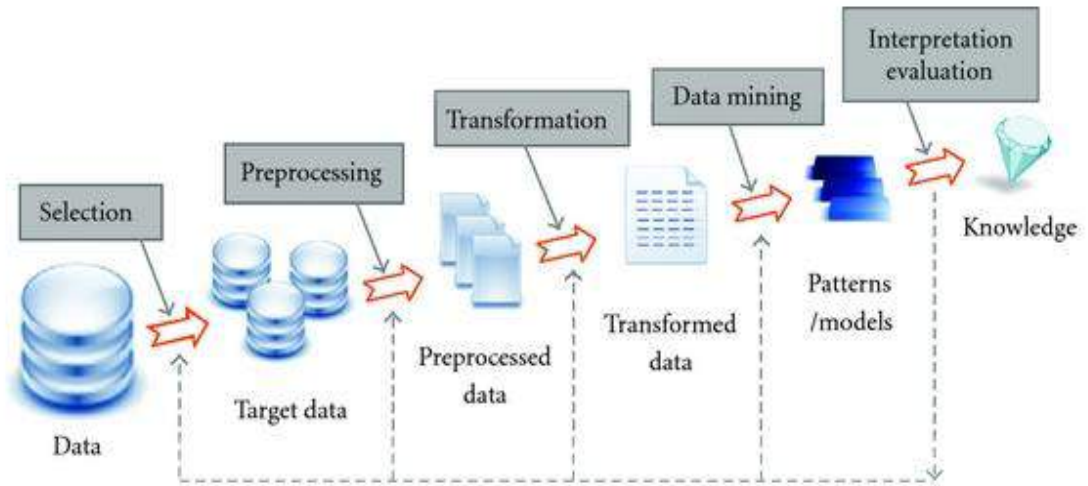
Ayrıca çok boyutlu düzlemlerde yani müşterilere ait çok fazla özniteliklerin bulunduğu ver setlerinde öğrenme ve sınıflandırma araçlarının başarılı sonuçlar veremeyeceği ya da bazı sapmaların meydana geleceği literatürde tanımlanmıştır. Bu gibi durumlarda boyut indirgeme algoritmaları kullanılmaktadır (Ho vd., 2009). LDA (*Linear Discriminant Analysis*), PCA (*Principal Component Analysis*) ve Faktör Analizi gibi yöntemler ile sınıflandırma başarısına etki etmeyen ya da çok az etkisi olan öznitelikler uzaydan çıkarılmaktadır.

Yine aynı şekilde k-NN gibi örnek tabanlı ve uzaydaki uzaklığı temel alarak sınıflandırma yapan öğrenciler çok boyutlu ortamlarda yeterince başarı sergileyememektedir. Bu gibi veri setleri için tembel öğrencilerden (*lazy learners*) daha çok daha çok akıllı öğrencilerin (*eager learners*) tercih edilmesi gerektiği bir gerçektir (Bulut vd., 2017). Karar ağaçları, Çok Katmanlı Algılayıcılar, Naive Bayes sınıflandırıcısı, kolektif öğrenciler (*Ensemble Learners*) bunlardan bir kaçıdır. Büyük veri için literatürde önerilmiş ve gerekli testleri yapılmış bazı sınıflandırıcılar vardır (Fernández vd., 2018).

4. Bankacılıkta Bilgi Teknolojileri Ve Uygulamaları

4.1. Bilgi Teknolojileri Aşamaları

Veri madenciliği adından da anlaşılacağı üzere, büyük verilerin bulunduğu ortamdan anlamlı bilgilerin çıkarılmasıdır. Diğer bir deyişle veri madenciliği, veri tabanlarından bilgi keşfinin (*Knowledge Discovery in Database, KDD*) yapılmasıdır. Çıkarılan bilgilerin yeni, bariz bir şekilde bilinebilir olmaması, ilgili kişiler tarafından kullanılabilir ve uygulanabilir olması gerekmektedir (Narang vd., 2017). Bilgi keşfi süreci elbette ki veri tabanı yönetimi (*Structure Query Language, SQL*) ve OLAP (*Online Analytical Processing*) ile başlamaktadır. Şekil 1'de görüldüğü üzere bu aşamadan sonra adım adım yapılması gereken bazı işlemler vardır.



Şekil 1. Bilgi keşfi adımları (Terzi vd., 2012)

KDD süreci içerisinde ilgili verilerin seçimi (*Data Selection*) oldukça önemlidir. Araştırma konusu ile ilgili olmayan, aralarında korelasyonun bulunmadığı sebep-sonuç ikililerinin seçimi hatalı veya eksik bilgilerin elde edilmesine neden olacaktır. Her bir bilgi keşfi uygulamasında ilgili ve alakalı verilerin seçilmesi şarttır. Seçim aşamasında zaman, mekân, sektör gibi faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekir. Örneğin 10 yıl önceki statik verilerle günümüz hakkında varsayımlarda bulunmak ya da Türkiye'nin doğu bölgesindeki bireysel müşteri verileri ile batı bölgesini yorumlamak yanlış olacaktır.

Veri Hazırlama (*Data Preprocessing*) aşamasında ise verilerin kullanıma hazırlanabilmeleri için verilerin temizlenmesi ve veri bütünlüğünün sağlanması gerekmektedir. Gürültülü ya da sisteme uymayan veriler silinmelidir. Nominal, tam sayı, reel, mantıksal değişken veriler veri setine nasıl yerleştirilecek bu önemlidir. Esasen bu bölüm veri tabanı bilgisi de gerektirmektedir.

Veri Temizleme (*Data Cleansing*) işlemi, gereksiz verilerin (*noise, outlier*) veri setinden çıkarılmasıdır. Bütün bu işlemler veri bütünlüğünün (*Data Integration*) oluşturulması için önemlidir.

Veri Dönüşümü (*Data Transformation*) ile elde edilen veriler madencilik için uygun formata dönüştürülür. En yaygın dönüşüm şekli 3 tanedir: veri normalizasyonu, verileri birleştirme (*data aggregation*) ve veri ayrıştırma (*data discretization*)

- Bazen nominal değerlere sahip veriler sayısallaştırılabilir, isimsel değerler ile matematiksel işlemlerin yapılması imkansızdır, mutlaka rasyonel veya tam sayı değerlerinin olması gerekir. Bazı durumlarda ise veriler kategorilere ayrılabilir, mantıksal 1-0 (doğru-yanlış) değerlerine de sahip olabilir.
- Kayıp değerler (*missing value*) en uygun değerlerle tolere edilebilir,
- Bazen de normalizasyon yapılabilir. Normalize edilmemiş bir veri seti üzerinde yapılan madencilik işlemleri yanlış sonuçlar verebilmektedir. Normalizasyon için literatürde önerilmiş Min-Max ve Z-Score gibi yöntemler mevcuttur (Bulut, 2017).

Veri Madenciliği: En önemli aşamadır. En uygun metotlar ile veri ambarında bulunan gizli ve değerli bilgi kalıpları açığa çıkarılmalıdır.

Yorum ve değerlendirme ile elde edilen bilgilerin, yargıların, yorumlamaların, sınıflandırmaların gerektiğinde görsel olarak kullanıcıya yorumlama ve değerlendirme amaçlı sunulması gerekmektedir.

Ayrıca yapay öğrenme alanında sınıflandırma uygulamalarının başarımı öğrencilere sunulan veri setleri ile doğrudan alakalıdır. En başarılı sınıflandırıcının bile veri setinin yapısına bağlı olduğu bilinmektedir.

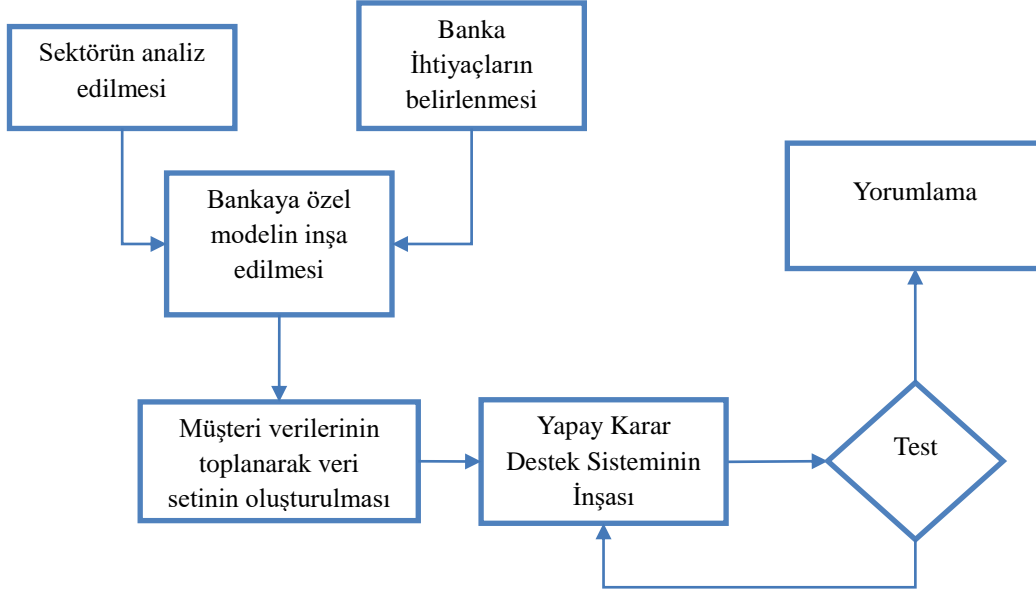
Bu nedenle şu iki hususa dikkat etmek gerekmektedir:

1. En başarılı sınıflandırma algoritmasının belirlenmesi için bir takım deneysel işlemlerin yapılması şarttır. Bu konuda elbette ki Meta Öğrenme ile veri setine uygun sınıflandırıcı yöntemlerinin bulunması bir tercih olabilir. Fakat daha çok literatürde önerilen sınıflandırıcıların başarıları deneysel olarak tercih edilmesi daha doğru olabilir.
2. Esasen sınıflandırma işleminin veri uzayının seyrek (*sparse*) bir yapıda olması sınıflandırma işlemini başarısız kılar. Nitekim banka sahip olduğu teknolojik yapı ile milyonlarca müşterisine ait gün içerisinde yine milyonlarca reel, etiketli, gerçek veri toplayabilmektedir. Bu veriler –belirtmek isteriz ki- doğru ve gerçek verilerdir. İçlerinde sisteme uymayan, yapıyı bozmayan, veriler bulunmamaktadır. Ayrıca kayıp değer de yoktur. Bu nedenle oluşturulacak veri seti oldukça zengin, yoğun (*dense*) ve filtre gerektirmeyen bir yapıdadır.

Bilinmelidir ki sınıflandırma başarısı veri setinin yapısı ile doğrudan alakalıdır. Bu gibi durumlar bir banka için oldukça büyük bir avantajdır.

4.2. Sürecin yaşam döngüsü

Bu çalışmada önerilen sistem dinamik bir yapıda olacak ve belirli periyotlarla müşterilerden elde edilen güncel veriler ışığında kendini yenilemelidir. Doğal olarak değişen ülke ekonomisine, kriz dönemlerine ve siyasal durumlara göre banka en uygun stratejisini zamana bağlı olarak geliştirebilecektir. Ayrıca coğrafi bölgelerin diğer bölgelerden farklı olması nedeni ile o bölgelere uygun farklı benzer çalışmalar yapılabilir. Şekil 2'de veri bilimi ışığında yapılabilecek müşteri ilişkileri yönetiminin yaşam döngüsü grafik şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 2. Proje Yaşam Döngüsü Aşamaları

Elbette ki önerilen bu model sektör ve banka ihtiyaçları göz önüne alınarak özgün bir şekle bürünecektir. Projenin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi amacıyla üç ana aşamadan oluşmaktadır:

1. Banka müşterilerine ait birçok veri bir veri setinde (havuzunda) toplanarak sayısallaştırılır, normalize edilir ve kullanılabilir hale getirilebilir.
2. Bu veriler, Veri Madenciliği ve Makine Öğrenmesi alanındaki Sınıflandırma (*Classification*), Tahmin (*Prediction*), Kümeleme (*Clustering*), İlişkilendirme (*Association*), Yarı Denetimli Öğrenme (*Semi Supervised Learning*) gibi alt başlıklardaki algoritmalar ile en uygun model oluşturulabilir.
3. Daha sonra kullanılan model ile müşteriler hakkında gerekli tahminler, yönlendirmeler ve kararlar elde edilebilir.

4.3. Sektörde Kullanılabilecek Veri Madenciliği ve Makine Öğrenmesi Teknikleri

Projede Yapay Zekâ alanındaki Makine Öğrenmesi (*Machine Learning*), Veri Madenciliği ve Bilgi Keşfi (*Data Mining and Knowledge Discovery*) ve Şekil Tanıma (*Pattern Recognition*) disiplinlerinde tanımlanan metotlar seçilerek özgün ve ihtiyaca uygun bir karar destek modelinin geliştirilmesi hedeflenmelidir. Teknik anlamda yapılabilecek projede kullanılacak algoritmaların bulunduğu ana başlıklar şu şekilde sıralanabilir:

1. Sınıflandırma (*Classification*)
2. Kümeleme (*Clustering*)
3. İlişkilendirme (*Association*)
4. Tahmin (*Forecasting*) ve Reel değerlerle Sınıflandırma (*Regression*)
5. Görselleştirme (*Visualization*)
6. İstatistiksel Analiz (*Statistical Analysis*)
7. Zamana Bağlı Dinamik Yöntemler

Yukarıda bahsedilen ana başlıklar için teorik olarak geliştirilmiş ve pratiğe dökülmüş birçok algoritmik yardımcı araç (*tool*) literatürde vardır ve kullanımdadır. Bu araçlardan en uygunları proje için modifiye edilip kullanılabilir. Görüldüğü üzere proje, bilinen istatistiksel ve matematiksel teoremlerden çok bilgi teknolojileri disiplini ile geliştirilebilir.

Veri madenciliği alanında en çok kullanılan teknik olan sınıflandırmada önceden tanımlanmış ve etiketli verilerin bulunduğu bir veri seti gereklidir. Veri setinde bulunan her bir örneğin etiket bilgisi isim veya sayı olabilir. Sınıflandırma sonucu yine nominal bir sınıf etiketidir. Bu metot ile müşteri gruplandırma ve dolandırıcılık tespiti gibi birçok uygulama yapılabilir.

Kümeleme, benzer özellikler gösteren örneklerin bir araya getirilmesi amacıyla kullanılır. Sınıflandırmadan farklı olarak kümelemede örneklerin sınıf etiketlerinin bilinmesine gerek yoktur. Kümeleme işlemi örneklerin öznitelik değerlerine bakılarak

yapılır. Müşterilerin bölgesel, demografik, gelir düzeyleri, işlem hacimleri, harcama miktarları ve yaşam tarzları bakımında gruplara ayrılması belirli aşamalarda yeterli olabilir ama ileri düzey için daha karmaşık işlemlere gerek vardır.

Geliştirilmiş bir CRM uygulaması ile müşteri segmentasyonu yapılabilir. Mevcut müşteri odaklı doğrudan Pazar ve piyasa araştırması amacıyla Müşteri Segmentasyonu yapılabilir. Birbiri ile benzeşen homojen yapıların tespit edilmesi sağlanabilir. Müşteri karakteristiği ve davranışları analiz edilebilir, en iyi müşteri segmentasyonu bu sayede yapılmış olur. Ayrıca sunulması planlanan her bir ürün için hedef gruplarının belirlenmesi ve bu sayede karlılığı en üst seviyeye çıkarmak için segmente edilmiş homojen gruplara belirlenen en uygun ürün ve hizmetlerin satılması sağlanmış olur. Örneğin belirli bir coğrafi bölgede yaşayanlar ve belirli bir meslek grubundaki çalışanların kendilerine özgü talepleri vardır. İşte birbiri ile benzerlik gösteren bu müşteriler için gerekli özel çözümlerin geliştirilip sunulması gerekmektedir.

Satılacak belirli bir ürün veya hizmet için homojen yapıdaki temel müşteri grubunun belirlenmesi oldukça önemlidir. Kümeleme ile müşteri profil ve segmentlerine en uygun gruplama yapılarak bir ürün benzer öznelikler sergileyen diğer müşterilere de satılabilir. Banka personeli doğru hedef müşteri grubunu bu sayede bulabilir, az mesai ile ürün satışı gerçekleştirilebilir.

İlişkilendirme (Association), iki veri, bilgi, davranış veya olayın aralarındaki korelasyonun diğer bir deyişle ilişkinin bulunması için kullanılan bir yöntemdir. Sepet Analiz Yöntemi (*Basket Analysis*) ile belirli bir ürün için yeni potansiyel müşteri gruplarını tespit etme işlemidir. Diğer bir deyişle bunu alan müşteri şunu da alır mı sorusunun cevabını bulma yöntemidir. Bir ürünü veya hizmeti alan müşteri (birey ya da KOBİ) başka hangi ürünü almış mıdır? İlişkilendirme bize korelasyon analizi yapmamızı sağlar. Bankadan bir ürünü veya hizmeti alan bir müşteri, büyük ihtimalle başka bir ürünü ya da hizmeti de alabilecektir. Ya da bir müşterinin belirlenen bir ürünü alma olasılığı nedir. Bu müşteri kredi kullanacak olsa ne kadar kredi kullanabilir? İşte bunun gibi büyük veri setlerinde gizli bir takım ikili işlem ilişkileri vardır. Büyük verilerin içerisinde bunu çıkarılması gerekmektedir.

Elde edilen bu gibi değerli bilgiler daha sonra fiyat belirlemede, ürün ve hizmet sunmada, kampanya belirleme gibi işlemlerde kullanılabilir. Ayrıca ücretlendirme, satış ve market stratejisinin belirlenmesi gibi alanlarda kesin kararların verilmesini sağlar. Dikey ve çapraz satışın artırılmasında bu yöntemler oldukça faydalıdır. Bilindiği üzere dikey satış (*Up Selling*), bir ürünü alan müşterinin o ürünün diğer eklenti ürünlerini de alma ihtimalini belirleme ve bu sayede doğru satış stratejisi belirleme yöntemidir. Çapraz satış (*Cross Selling*) ise bir ürünü alan müşterinin, alma ihtimali yüksek diğer ürünlerin belirlenmesini sağlama ve bu sayede hem doğru satış stratejisi belirleme hem de kârlılığı artırma tekniğidir.

Banka bir ürünü veya hizmeti, müşteriye ulaşıp satmak isteyen banka çalışanı belki önceden 100 kişiden 2-3 kişiye satabilirken bu yöntemler ile doğru bir şekilde belirlenmiş temel kitledeki müşterilere ulaşmış olacak ve satış oranı yükselebilecektir.

Tahmin (*Forecasting*) için Regresyon tekniği sistemine uyarlanabilir. Regresyon analizleri bağımlı veya bağımsız değişkenlerin aralarındaki ikili ilişkilerin incelenmesi için kullanılabilir. Veri madenciliğinde değişkenler öznelik (*attribute, feature*) olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin satış hacmi, depolama maliyetleri, başarısızlık riski oranı gibi durumların önceden tahmin edilmesi oldukça zordur. Çünkü bunlar karmaşık ve belirlenmesi gün nedenlerden ötürü meydana gelmiş olabilir. Geleceğe yönelik analiz çalışmaları için daha karmaşık (örneğin *Logistic Regression, Decision Trees, ya da Neural Networks*) yöntemler tercih edilebilir. Bu projede bir ürününüzü veya hizmetinizi satın alan müşterinin sunulan diğer bir ürünü alma olasılığını bu sayede bulunabilir. Eğer olasılık belirli bir oranın üzerinde ise bu müşteri sunulan ürünü büyük ihtimalle alacaktır. Alınan bir ürünün diğer bir ürün üzerindeki alım etkisinin analizi yapılabilir. Satılan ürünlerin birbirlerini etkileme durumlarının incelenebilir. Bir müşterinin ne kadar süre banka ile çalışacağını tahmin etme (*Customer Lifetime Value*) ve mevcut her bir müşteriden elde edilebilecek kâr oranı tahmin etme bu kategoride incelenebilir.

Reel değerlerle Sınıflandırma işleminde ise sınıflandırmada olduğu gibi önceden tanımlanmış bir veri seti gereklidir. Etiket değerleri sınıflandırmadan farklı olarak sayısal değerlere sahiptir. Elde edilen hesaplamaların sonucu da doğal olarak reel değerler olacaktır. Çekilen bireysel veya ticari kredilerin bankaya ödenebilmesi ile ilgili risk analizinde bu yöntem kullanılabilir.

Ayrıca işletme tarafında kendi müşterilerine ait bir takım analizler de şu şekilde yapılabilir:

- Müşteri alım davranışları, gereksinimleri nelerdir.
- Müşteri banka değiştirmeden önce hangi tür davranışlar sergiler.
- Hangi ürün grupları hangi müşteri kitleleri tarafından satın alınır.
- Hangi tür davranışlar sahtecilik veya dolandırıcılık göstergesidir. Bununla ilgili daha önce sahtecilik veya dolandırıcılık yapan müşterilerin ön alım davranışları ve işlemleri sistemin eğitilmesinde kullanılmalıdır.
- Borç ödemedeki yüksek risk taşıyan müşteri tanımının yapılması.
- Mevcut müşterilerin ihtiyacı olabilecek servis, ürün ve hizmetler nelerdir?
- Sadık müşteri tanımı için tüm ihtiyaçlarını aynı bankadan karşılayan müşterilerin tespit edilmesi.

Veri madenciliği, makine öğrenmesi ve şekil tanımda gibi veri bilimi dallarında her geçen gün içerisinde mevcut öğrenme metodlarının iyileştirilmiş bir versiyonları ve bunun yanında yeni yeni teknikler literatürde yerini almaktadır. Elbette ki bu çalışmalar makaleye ilave edilebilir. Burada önemli olan yeni metodlarla var olan bir sistemi hızlandırmaya ya da daha doğru sonuçlar almaya çalışmak değildir. Amaç var olan yöntemlerin yanı sıra farklı bir modelin inşasına zemin hazırlamaya çalışmaktır.

5. Sonuç

Sonuç olarak banka personeli daha az bir mesai ile alım yapacak hedef müşteriye önerilen bu yazılım sayesinde ulaşabilecektir. Önerilen sistem dinamik bir yapıya sahip olacaktır. Zamana bağlı olarak tüzel ve gerçek kişilerden elde edilen veriler veri havuzunu zenginleştirecek, satılması planlanan ürün ve hizmetlerin en az mesai ile doğru zamanda doğru kişilere satışının yapılması sağlanmış olacaktır.

Esasen bu çalışma hem bir araştırma makalesi hem de bir derleme makalesi özelliği taşımaktadır. Çalışmada önerilen model uygulanabilir bir yapıdadır fakat bilindiği üzere uygulama yapabilmek için gerçek verilere ihtiyaç vardır. Türkiye’de bir bankanın kendi müşterilerine ait verileri üçüncü şahıs ve şirketlerle –ki bu akademik çalışmalar olsa dahi– paylaşması mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle çalışma ağırlık olarak teorik bir modelin önerilmesi şeklindedir. Bunun yanında farklı olarak müşterilerin yaşam alışkanlıkları ve davranışlarının modellenmesi üzerine kurulu bir veri toplama modeli de şekillendirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada önemli olan veri madenciliği, makine öğrenmesi, şekil tanıma ve istatistik alanında yeni algoritmaların geliştirilmesi, kullanılan tekniklerin iyileştirilmesi değildir. Ya da hızlı ve kapasitesi yüksek bilgisayarların bu alanda kullanılması da değildir. Önemli olan bankacılık sektöründeki ihtiyaçların en iyi şekilde belirlenmesi, kullanılması gereken modelin en uygun şekilde oluşturulması ve elde edilen sayısal değerlerin iyi yorumlanması gerekmektedir.

Üzerinde çalışılan proje, bankalara ait finansal işlemlerden ve milyonlarca müşteriye ait ham verilerden makine öğrenmesi ve veri madenciliği metotları ile sektöre ait değerli bilgilerin çıkarılması amacıyla gerekli alt yapının hazırlanmasını içermektedir. Bu çalışmada önerilen veri toplama yöntemleri, elde edilen verilerin sayısallaştırılması, her bir yöntemin sektöre nasıl uyarlanacağı ile ilgili yapay destek modelinin ufuk açıcı özellikte olduğu düşünülmektedir. Burada belirtmek isteriz ki projede asıl amaç müşterileri fişlemek, belirli kategorilere ayırmak, kişisel verileri elde etmek, özel yaşam alanları ile ilgili verileri istifleme olmamalıdır. Proje kapsamında yapılan işlemler sadece banka tarafında gerçekleşecek ve hiçbir şekilde müşteriden elde edilen veriler başka kurum ve kuruluşlarca paylaşılmamalıdır. Çalışmada ele alınan konunun büyük projeler için bir prototip olması nedeniyle daha farklı bir öneme sahip olduğu düşünülmektedir.

Kaynakça

- Amani, F. A., & Fadlalla, A. M. (2017). Data mining applications in accounting: A review of the literature and organizing framework. *International Journal of Accounting Information Systems*, 24, 32-58.
- Bahari, T. F., & Elayidom, M. S. (2015). An efficient CRM-data mining framework for the prediction of customer behaviour. *Procedia Computer Science*, 46, 725-731.
- Bhambri, V. (2011). Application of data mining in banking sector. *IJCST*, 2(2), 199-202.
- Bulut, F., & Amasyali, M. F. (2017). Locally adaptive k parameter selection for nearest neighbor classifier: one nearest cluster. *Pattern Analysis and Applications*, 20(2), 415-425.
- Bulut, F. (2017). Örnek tabanlı sınıflandırıcı topluluklarıyla yeni bir klinik karar destek sistemi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 65-76.
- Chopra, B., Bhambri, V., & Krishan, B. (2011). Implementation of data mining techniques for strategic CRM issues. *Int. J. Comput. Technol. Appli*, 2, 879-883.
- Das, S., & Mishra, M. (2019). The Impact of Customer Relationship Management (CRM) Practices on Customer Satisfaction. In *Business Governance and Society* (pp. 43-54). Palgrave Macmillan, Cham.
- Ellaban, Mahmoud Ayesh Abu, (2013), The Role of Data Mining Technology in Building Marketing and Customer Relationship Management (CRM) for Telecommunication Industry, Islamic University, BusinessAdministration.
- Anshari, M., Almunawar, M. N., Lim, S. A., & Al-Mudimigh, A. (2018). Customer relationship management and big data enabled: personalization & customization of services. *Applied Computing and Informatics*.
- Fernández, A., García, S., Galar, M., Prati, R. C., Krawczyk, B., & Herrera, F. (2018). Imbalanced Classification for Big Data. In *Learning from Imbalanced Data Sets* (pp. 327-349). Springer, Cham.
- Hasan, A. A. T. (2018). Customer Relationship Management (CRM) Practices of City Bank in Customer Retention Perspective in Bangladesh. *Global Journal of Management And Business Research*.
- Ho, C. T. B., & Wu, D. D. (2009). Online banking performance evaluation using data envelopment analysis and principal component analysis. *Computers & Operations Research*, 36(6), 1835-1842.
- Kasemsap, K. (2018). Facilitating customer relationship management in modern business. In *Encyclopedia of Information Science and Technology*, Fourth Edition (pp. 1594-1604). IGI Global.
- John, S. N., Anele, C., Kennedy, O. O., Olajide, F., & Kennedy, C. G. (2016, December). Realtime Fraud Detection in the Banking Sector Using Data Mining Techniques/Algorithm. In *Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), 2016 International Conference on* (pp. 1186-1191). IEEE.
- Jayasree, V., & Balan, R. V. S. (2013). A review on data mining in banking sector. *American Journal of Applied Sciences*, 10(10), 1160.
- Mitik, M., Korkmaz, O., Karagoz, P., Toroslu, I. H., & Yucel, F. (2016, December). Data Mining Based Product Marketing Technique for Banking Products. In *Data Mining Workshops (ICDMW), 2016 IEEE 16th International Conference on* (pp. 552-559). IEEE.
- Moro, S., Laureano, R., & Cortez, P. (2011). Using data mining for bank direct marketing: An application of the crisp-dm methodology. In *Proceedings of European Simulation and Modelling Conference-ESM'2011* (pp. 117-121). EUROSIS-ETI.
- Narang, S. K., Kumar, S., & Verma, V. (2017). Knowledge discovery from massive data streams. In *Web semantics for textual and visual information retrieval* (pp. 109-143). IGI Global.
- Nguyen, N. T., Hoang, D. H., Hong, T. P., Pham, H., & Trawiński, B. (Eds.). (2018). *Intelligent Information and Database Systems: 10th Asian Conference, ACIIDS 2018, Dong Hoi City, Vietnam, March 19-21, 2018, Proceedings* (Vol. 10751). Springer.
- Oliveira, V. L. M. (2012). Analytical customer relationship management in retailing supported by data mining techniques.
- Sharahi, M., & Aligholi, M. (2015). Classify the data of bank customers using data mining and clustering techniques (Case study: Sepah bank branches Tehran). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 5(5), 458-464.
- Tam, P. T., & Van Thuy, M. B. (2017). THE INDUSTRY 4.0 FACTOR AFFECTING THE SERVICE QUALITY OF COMMERCIAL BANKS IN DONG NAI PROVINCE. *European Journal of Accounting Auditing and Finance Research*, 5(9), 81-91.
- STATISTICA Data Miner, (2019). A Trademark for industries, URL: www.statsoft.com, USA.
- Tsiptsis, K. K., & Chorianopoulos, A. (2011). *Data mining techniques in CRM: inside customer segmentation*. John Wiley & Sons.
- Zerbino, P., Aloini, D., Dulmin, R., & Mininno, V. (2018). Big Data-enabled customer relationship management: A holistic approach. *Information Processing & Management*, 54(5), 818-846.



Hasarlı Kurşun Koruyucu Giysilerin Atık Kriterlerinin Belirlenmesi

Ayşegül Yurt^{1,2*}, Mustafa Tintaş^{1,3}

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik AD, İzmir, Türkiye (ORCID 0000-0001-6512-4950)

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, İZMİR, Türkiye (ORCID 0000-0001-6512-4950)

³ Sakarya Üniversitesi, Araştırma ve Uygulama Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi AD, Sakarya, Türkiye (ORCID 0000-0002-1477-7959)

(İlk Geliş Tarihi 21 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 15 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.530063)

ATIF/REFERENCE: Yurt, A. & Tintaş, M. (2019). Hasarlı Kurşun Koruyucu Giysilerin Atık Kriterlerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 395-402.

Öz

Amaç: Radyasyondan korunmada, kişisel korunma için kurşun koruyucu giysiler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu koruyucular, kullanım ve depolama şartları gibi nedenlerle zamanla hasar görebilmektedir. Bundan dolayı kurşun koruyucu giysilerin yılda bir kez kalite kontrollerinin yapılarak hasarlı ve riskli olanların belirlenmesi, radyasyon çalışanlarının kişisel korunmasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, radyasyonla çalışan birimlerde kullanılan hasarlı kurşun koruyucu giysileri ve onlar için atık kriterlerini belirlemektir.

Materyal ve Yöntem: Bu çalışmada, hastanemizde kullanılan 167 kurşun koruyucu giysinin floroskopi eşliğinde yapılan kalite kontrol çalışmasında; delik/yırtık sayıları, bu deliklerin toplam alanları, x ışınlarını % geçirme oranları ve delik/yırtık altındaki eşdeğer ve ek doz değerleri belirlendi. Elde edilen bu verilerle, hasarlı ve riskli kurşun koruyucu giysiler belirlendi ve hasarlı kurşun giysiler için literatür destekli atık kriterleri tanımlandı.

Bulgular: Literatüre göre atık kriterleri, delik/yırtık alanının 10 cm² ve fazlası, yüzde geçirme miktarının %5 ve fazlası, etkin doz değeri ise 0,4 mSv olarak belirlendi. Bu atık kriterleriyle yapılmış olan hasar değerlendirme kalite kontrol çalışmasına göre kurşun koruyucuların %7,8'i atık ve %12,8'i ise riskli olarak tespit edildi.

Sonuç: Kurşun koruyucu giysiler için hem kişisel radyasyondan korunmadaki güvenlik hem de maliyetleri açısından bu kriterlere göre hasarlı ve atık kararının verilmesi önemlidir. Hasarlı kurşun koruyucu giysilerin atık kriterlerine bağlı olarak kullanımdan çıkarılması, gereksiz kurşun önlük atığının olmasını da önler.

Anahtar sözcükler: Atık kriterleri, İş güvenliği, Radyasyon koruyucuları, Radyasyon dozu, Radyasyondan korunma

Determination of Rejecting Criteria in Lead Protective Apparels

Abstract

Introduction: Lead protective apparels such as lead aprons, thyroid shields, and gonadal shielding are being used frequently for personal protection from radiation. These lead protectives may also be damaged frequently because of the usage and storage conditions. Therefore, the quality control of lead protective apparels which are performed once a year and the determination of damaged and risky ones are of great importance in the personal protection of radiation workers. In this study, it was aimed to determine the reject criteria by identifying damaged lead protective apparels.

Material and Method: In this study, the numbers of tears, the total area of these tears, % shielding effect of x-rays and effective dose values were determined by the quality control inspection with the assistance of fluoroscopy of 167 lead protectives which were used in our hospital. Based on the data obtained, damaged and risky lead protectives were determined. In addition to this, the criteria rejection of the damaged lead clothing according to the literature have been defined for the protection radiation purposes.

* Ayşegül Yurt: Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik AD., İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6512-4950, aysegul.yurt@deu.edu.tr

Results: According to the literature, the rejection criteria were determined as 10 cm² and higher of the hole/tear area, for percent transmission value %5 and higher, and the effective dose value of 0,4 mSv. According to the damage assessment quality control study performed with these waste criteria, 7,8% of the lead shields were determined as waste and 12,8% as risky.

Conclusion: Criteria have been set for the damaging decision of the lead protective apparels which have high cost and radiation protection. Removal of damaged lead protective clothes depending on waste criteria, it also prevents unnecessary lead apron waste.

Keywords: Reject criteria, Occupational safety, Radiation dose, Radiation protection, Radiation protective

1. Giriş

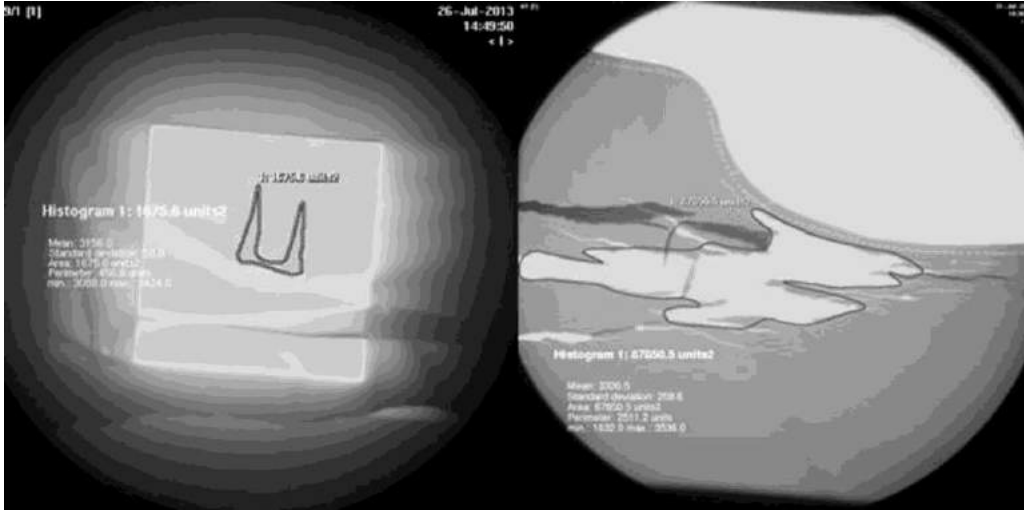
Günümüz tıp teknolojisinde hastalıkların erken ve doğru teşhisinde radyolojik görüntülemenin önemi büyüktür. Bu amaçla hastanelerin ve görüntüleme merkezlerinin radyoloji bölümlerinde anjiyografi, floroskopi, konvansiyonel görüntüleme, seyyar röntgen, dental görüntüleme, bilgisayarlı tomografi gibi birçok farklı cihazlarda x-ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyon kullanımına sıkça rastlanmaktadır (Jones ve Wagner, 2013; Lambert ve McKeon, 2001). Radyasyondan korunmanın temel ilkelerinden biri olan ALARA(As Low As Reasonably Achievable)'ya göre; optimum görüntü kalitesi, en az radyasyon dozu ile elde edilmelidir. Ancak maruz kalınan doz, bazı girişimsel uygulamalarda uluslararası otoriteler tarafından izin verilen doz sınırlarının üzerine çıkabilmektedir. Çünkü konvansiyonel radyografiye göre girişimsel radyografi gibi çalışmalarda uygulamanın tipi ve süresine bağlı olarak toplam doz da her geçen gün daha fazla artmaktadır (Stam ve Pilay, 2008). Bundan dolayı, radyasyonun zararlı etkileri nedeniyle uygulama sırasında hastanın ve uygulamayı yapan personelin, radyasyondan korunması şarttır. Kurşunun, radyasyon soğurma yeteneğinin yüksek olması ve geniş bir enerji aralığında etkin bir koruma sağlaması nedeniyle kurşun içerikli koruyucu giysiler radyasyon korunmasında oldukça sık kullanılmaktadır (Oyar ve Kışlalıoğlu, 2012). Öte yandan kurşunun ucuz ve kolay işlenebilen bir element olması, ikinci bir tercih sebebidir. Radyasyonun tipine ve enerjisine bağlı olarak farklı kalınlıkta (0,25mmPb, 0,35mmPb ve 0,50mmPb) kurşun koruyucular (kurşun önlük, troid koruyucu, gonad koruyucu vb. giysiler) kullanılmaktadır (Çetin vd., 2016).

Kurşun, alaşım olduğundan dolayı uygun şartlarda kullanılmadığında kırılma ve çatlaklar olabilmektedir. Bu hasarlar, kurşun koruyucunun yaşı ya da kullanım hatalarından kaynaklanmaktadır (Stam ve Pilay, 2008). Bu nedenle kurşun koruyucu önlüklerin rutin kontrolü yapılmazsa zamanla oluşabilecek delik/yırtıklar nedeniyle onu giyen kişinin alacağı radyasyon dozu da önemli ölçüde artabilecektir. Bu nedenle kurşun önlük, troid koruyucu, gonad koruyucu gibi kurşun koruyucu giysilerin yıllık kalite kontrolleri yapılarak delik/yırtığın boyutunun ve konumunun belirlenmesi, gerektiğinde bu önlüğün atılarak yerine yenisinin alınmasına gerek olup olmadığına karar vermede büyük öneme sahiptir (Stam ve Pilay, 2008). Hastanelerde koruyucu kurşun giysilerin kalite kontrol çalışması yapılarak, bunların tam hasarlı, yarı hasarlı ve hasarı olmayanlar olarak sınıflandırıldıktan sonra risk değerlendirmesi yapılarak atılacakların belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, hastanemizdeki kurşun koruyucu giysilerin kalite kontrol çalışması yapılarak hasarlı olanlar belirlendi ve delik/yırtık alanı, birincil ve ikincil radyasyonu % geçirme değerleri, etkin doz değerleri arasındaki ilişki incelenerek atık kriterlerinin ortaya konulması amaçlandı. Bu atık kriterleri, hastaneler ve ilgili kurumlarda kullanılan kurşun koruyucu giysilerin kalite kontrolleri sonrasında atık kararının verilmesinde önemli rol oynayacaktır.

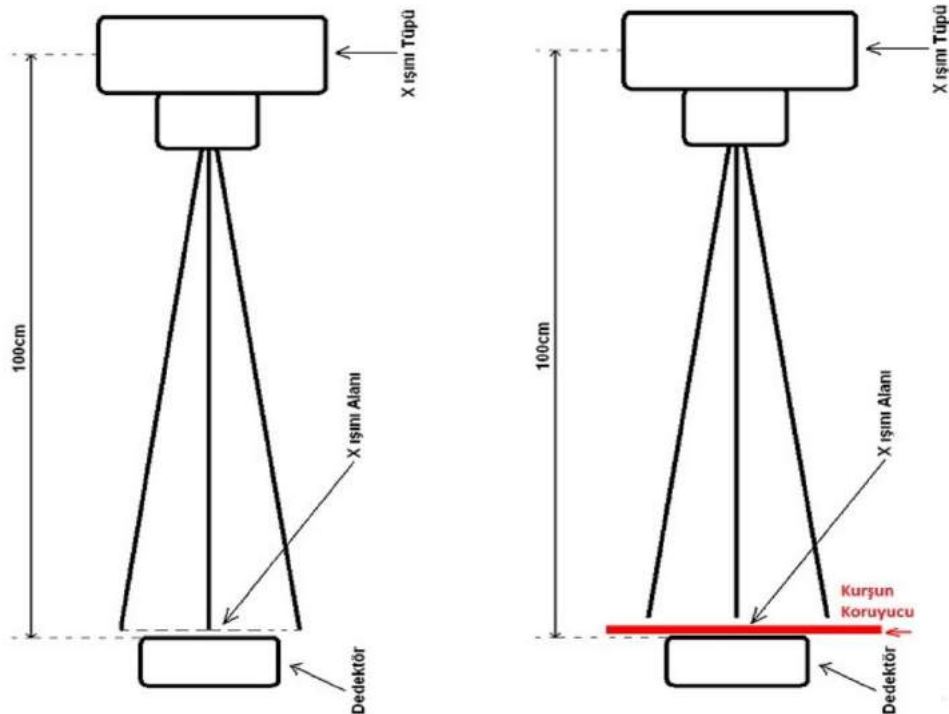
2. Materyal ve Metot

Hastanemizde 6 farklı bölümde (Nükleer Tıp Bölümü, Radyoloji Bölümü, Gündüz Tedavi Merkezi, Kardiyoloji Bölümü (Anjiyo Birimi), Acil Servis, Ameliyathane Birimi) kullanılmakta olan 0,25 mmPb ve 0,5 mmPb kalınlığındaki 167 kurşun koruyucu giysinin kalite kontrolü, floroskopi cihazı ile yapıldı. Bu kurşun koruyucu giysilerin 120'si kurşun önlük, 38'i tiroid koruyucu ve 9'u gonad koruyucuydu. Kurşun koruyucu giysilerin hangi bölümlere ait olduğunu belirtmek amacıyla önce kodlama işlemi yapıldı. Daha sonra her bir kurşun giysinin özellikleri (marka, kurşun eşdeğerliği, seri no vb.) kaydedildi. Kurşun koruyucu giysiler floroskopi eşliğinde 100 kVp'de taranarak, hasarlı olanlar tespit edildikten sonra hasarlı olanların delik/yırtık olan kısımlarının radyografik görüntüleri alındı ve PACS'da (Picture and Archiving Communication System, PHILIPS iSite Radiology, version 4.1.110) saklandı. Elde edilen bu görüntülerdeki delik/yırtık alanlarının hesaplamasında sisteminin yazılım programından yararlanıldı (Şekil 1).

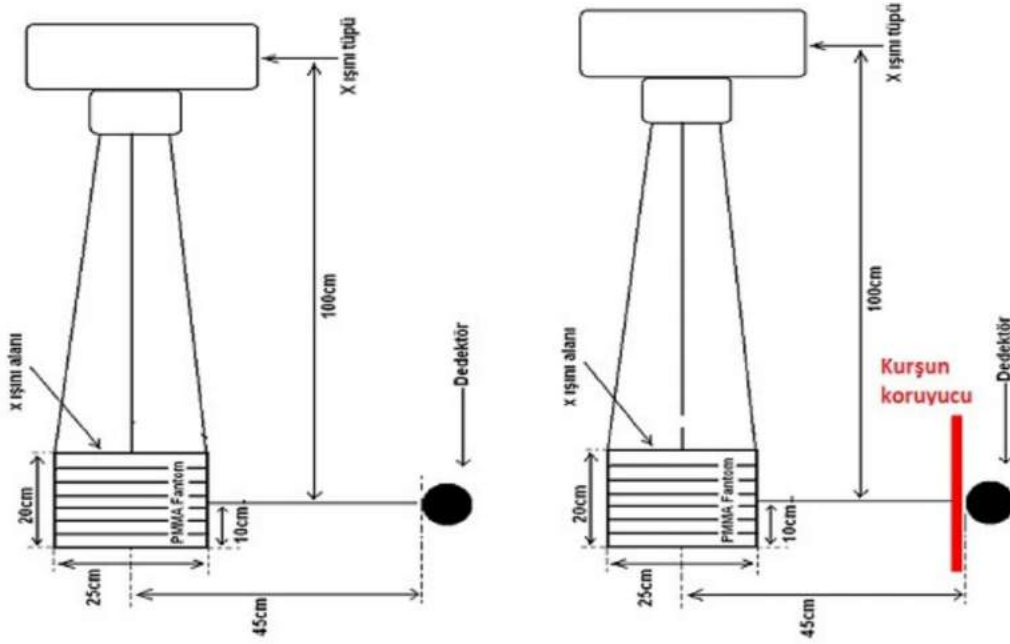


Şekil 1: Floroskopi eşliğinde kalite kontrolleri yapılan kurşun önlüklerde belirlenen delik/yırtıklar ve bunlara ait alan ölçümü

Delik/yırtık alanlar belirlendikten sonra bu hasarlı alanların radyasyonu ne kadar geçirdiğini belirleyebilmek için Şekil 2'deki düzenek kullanıldı. Şekil 2a'da, hiçbir engel olmadan tüp çıkışı radyasyon doz değerleri, bir iyon odası (PTW marka, 6 cm³ hassasiyetli hacimli ve 50-150kV aralığında) kullanılarak belirlendi. Şekil 2b'de ise iyon odası üzerine delik/yırtık olan kurşun koruyucu giysi konularak bu koruyucunun radyasyonu ne kadar geçirdiği belirlendi. Yani, birincil ölçümlerde ilk önce havadaki doz belirlendikten sonra kurşun koruyucu giysi altına iyon odası konularak aynı değerlerde ışınlama tekrarlanmak suretiyle kurşun giysinin azaltma değerleri belirlendi. İkincil (saçılan) radyasyon doz değerlendirmesinde de 50 cm kalınlığındaki PMMA (Polymethyl methacrylate) fantom masaya konulup, masadan 50 cm uzaklığa kurşun koruyucu giysi bir askıyla yerleştirildi (Şekil 3a ve Şekil 3b). Geiger Müller dedektörü (GM dedektör) yardımıyla tüm vücut koruyucu giysileri için kurşun koruyucuların önü ve arkasında ölçümler alındı.



Şekil 2: (a) Birincil x-ışınlarının havadaki doz değerlerinin belirlenmesindeki ölçüm düzeneği (b) Kurşun koruyucudaki yırtık altı birincil radyasyon değerlerinin belirlenmesindeki ölçüm düzeneği



Şekil 3: (a) Saçılan x-ışınının havadaki doz değerlerinin ölçüm düzeneği (b) Saçılan x-ışını kurşun koruyucu altındaki doz değerlerinin ölçüm düzeneği

Her bir kurşun koruyucu giyside kaç tane delik/yırtık olduğu belirlendikten sonra kurşun giysilerin belirlenen alanları altında birincil ve saçılan (ikincil) radyasyon değerleri ölçüldü ve radyasyonu geçirme oranları eşitlik 1 ile hesaplandı (Zuguchi vd., 2008; Çetin vd., 2016).

$$\% \text{ Soğurma etkisi} = \frac{\text{Havadaki doz ölçümü} - \text{kurşun önlük altındaki doz ölçümü}}{\text{Havadaki doz ölçümü}} \times 100 \quad (1)$$

Havadaki doz ölçümü, kurşun önlük olmadan alınan radyasyon ölçüm değeri olmak üzere x ışınlarının kurşun koruyucu giysilerden % geçiş oranları belirlendi.

Kurşun koruyucu giysilerdeki bir delik/yırtıktan dolayı belirli bir limit dozun aşılması ve belli bir geçiş değerinin beklenen değerin üstünde olması durumunda alınan dozun belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bir kurşun önlükte, a alanına sahip delik/yırtığın toplam etkin dozu hesaplamak için Eşitlik 2 kullanıldı (Lambert ve Mckeon, 2001; S tam ve Pilay, 2008).

$$E_{top}(a) = w_t \times D \times T \times \left(1 - \frac{a}{A}\right) + w_t \times D \times \left(\frac{a}{A}\right) \quad (2)$$

w_t : tüm vücut için doku ağırlık faktörü

D (mGy): kurşun önlük tarafından azaltılan doz

T : kurşun önlükten geçirim faktörü

a (cm²): yırtığın alanı

A , ilgilenilen kurşun koruyucunun bölge veya yüzey alanı

100 kV'de değerlendirme yapıldığından dolayı bu hesaplamalarda ICRP 60 nolu raporuna göre tüm vücut kurşun giysi için $w_t=1$, $A= 4000 \text{ cm}^2$, 0,5 mmPb önlükler için kurşun önlük geçirim faktörü $T= 0,038$ (Tablo 1) olarak belirlendi. D , doz azaltım değerleri (Eşitlik 1'den hesaplanan değerler) ve her bir yırtığın alanı a değerleri belirlenerek eşitlik 2'den kurşun koruyucu giysiler için toplam etkin doz hesaplamaları yapıldı (Duran ve Emmy, 2003; Stam ve Pilay, 2008). Elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde SPSS 20.0 versiyon (Statistical Package for the Social Sciences 20.0 version) kullanıldı. Bu çalışmada çift kat ve 0,25 mmPb önlükler çok az olduğu için istatistik değerlendirmeye alınmadı.

Tablo 1: Farklı kurşun eşdeğerli önlükler için elde edilen geçirim değerleri (Stam ve Pilay, 2008)

d (mmPb)	Geçirim katsayısı T(-)
0,25	0,19
0,35	0,10
0,50	0,038
0,70	0,010
1,00	0,0014

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Gerçekleştirilen kalite kontrol çalışması sonucunda incelemeye alınan 38 troid ve 9 gonad koruyucuda herhangi bir hasara rastlanmadı. Bununla birlikte incelemeye alınan 120 kurşun önlüğün 78 tanesinde bir ya da birden daha fazla yırtık tespit edildi. Tüm kurşun önlükler arasında hasarlı kurşun önlüklerdeki yırtık sayılarının sıklığı, Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Hasarlı önlüklerdeki delik/yırtık sayılarının önlük sayılarına göre dağılımı

Yırtık sayısı	Önlük sayısı	Hasarlı önlüklere göre % oran
1	20	25,6
2	12	15,4
3	6	7,7
4	20	25,6
5	5	6,4
7	7	9,0
8	8	10,3
Toplam	78	100,0

Hasarlı önlüklere bakıldığında 4 ve üzeri delik/yırtık olan önlüklerin toplamının hasarlı önlük sayısının yarısından fazla olduğu gözlemlenmiştir. Birimlere ait hasarlı önlüklerin delik/yırtık sıklığı, toplam alanları, % geçiş oranları ve etkin doz göre dağılımı Tablo 3’de gösterilmektedir.

Tablo 3: Hasarlı önlüklerin yırtık sıklığı, toplam alanı, % geçiş oranı ve etkin doz değerlerine göre dağılımı

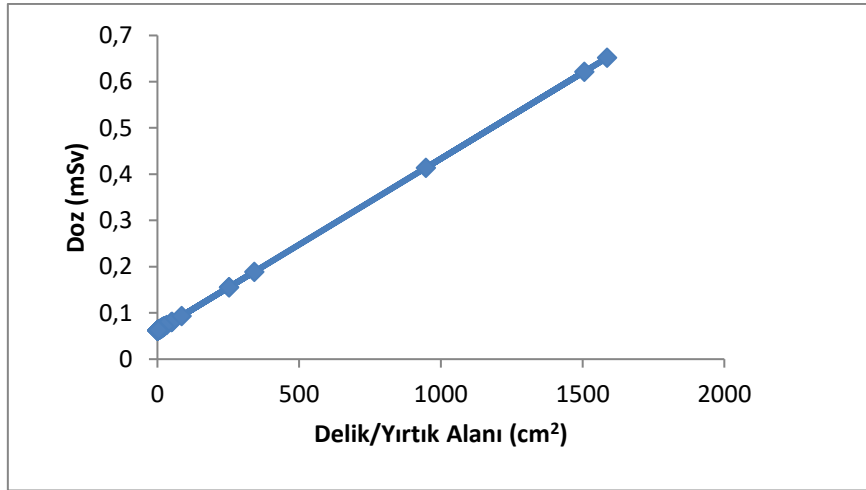
Bölüm	Yırtık sıklığı	Yırtık toplam alanı(cm ²)	% Geçirme oranı	Etkin Doz
2A6	4	69,00	2,8	0,27
1A1	7	94,1	3,1	0,51
1A4	8	418,7	2,6	0,65
1A5	4	54,5	2,7	0,13
AML1	7	15,01	2,5	0,13
AML4	8	67,7	10,3	0,21
AML5	3	23,5	3,1	0,19
AML6	4	99,6	3,2	0,28
GND2	5	13,75	3,03	0,31
ANJ8	2	98,7	3,69	0,16
NTP7	4	24,18	0,69	0,26
NTP9	2	32,7	0,51	0,14
KRD 3	1	252,3	5,01	0,16
KRD 4	1	1505,8	10,62	0,62
KRD 6	1	1586,6	9,49	0,65
KRD10	1	252,5	10,16	0,16

Atık kriterini belirlemek için hasarlı önlüklerden kaynaklı dozun, radyasyon çalışanlarının yıllık alabileceği ortalama yıllık doz değeri olan 20 mSv'nin 1/10'u yani 2 mSv geçmemesi planlanmalıdır. Bu referans değerleri içine alan literatürlerden, hasarlı kurşun önlükler için verilen değerler atık kriterini belirlemede göz önüne alındı. Çalışmamızda belirlenen hasarlı kurşun önlükler için atık kriterleri, literatüre göre % geçirme oranı için %5 ve üstü; delik/yırtık alanı için 10cm² ve etkin doz değerlendirmesinde ise 400\$'lık bir kurşun önlük için doz kriteri yaklaşımla belirlenen 0,4 mSv olarak belirlendi (Lambert ve McKeon, 2001; Stam ve Pilay, 2008; Duran ve Emmy, 2003). Bu kriterlerden en az 2 tanesini aşanlar, hasarlı önlük olarak belirlendi. Bu kriterlere göre Tablo 3'e bakıldığında, hasarlı önlüklerin büyük bir çoğunluğunun ameliyathane ve kardiyoloji bölümünde kullanılan önlükler olduğu görüldü. Buna göre hasarlı önlük oranı, tüm önlüklerin %7,8'ini oluştururken riskli önlük oranı, %12,8 olarak bulundu. Şekil 4'de atık kararı alınan önlüklere birkaç örnek gösterilmektedir.



Şekil 4: Atık kararı alınan 7 adet delik/yırtık olan etek-yelek kurşun koruyucu giysi

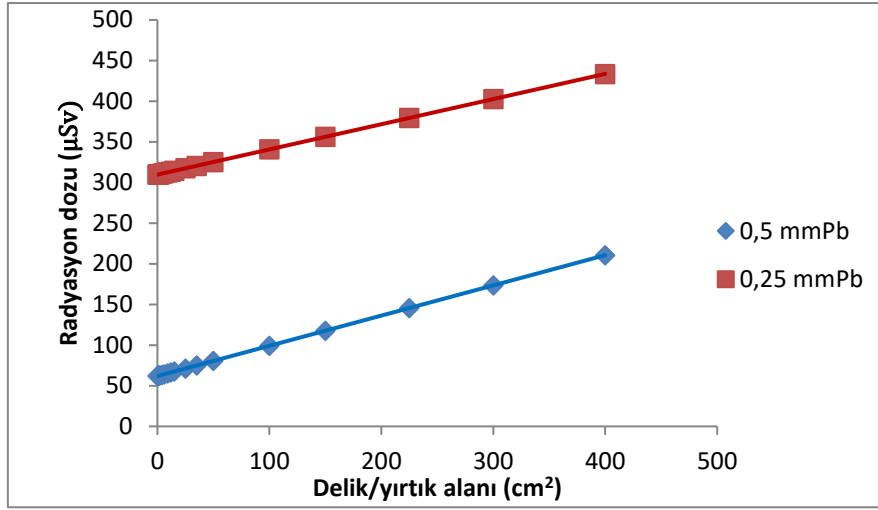
Hasarlı kurşun önlüğe ait delik/yırtık alanı ile etkin doz değerlerinin grafiği Şekil 5'deki gibidir.



Şekil 5: Delik/yırtık alanının büyüklüğüne göre değişen etkin doz değerleri

Şekil 5'te yırtık alanı arttıkça etkin doz miktarında da lineer bir artışı olduğu görüldü. Bu da alan arttıkça kullanıcıların alacağı radyasyon dozunun artacağı anlamına gelmektedir.

Bu çalışmanın sonuçlarının doğrulanması ve sonraki yıllarda da kurşun giysilerin kalite kontrolünde kullanılabilmesi için belirlediğimiz delik/yırtık alanına göre etkin doz ölçümleri yapıldı ve kalibrasyon eğrileri çizildi (Şekil 6).



Şekil 6. 0,25 Pbmm ve 0,5 mmPb kurşun önlük için toplam etkin doz eğrisi

Şekil 6'daki eğriler referans alınarak önümüzdeki yıllarda yapılacak olan kurşun koruyucu giysilerin kalite kontrol çalışmalarında belirlenen delik/yırtık alanı ve tanımlanan doz kriterlerine göre hasarlı koruyucuları kolaylıkla değerlendirmek mümkün olacaktır.

Radyasyon uygulamalarında çalışanlar, radyasyondan korunmak için kurşun ya da kompozit malzemeden oluşan koruyucu giysiyi sıklıkla kullanırlar ve bu giysiler kullanım koşullarına göre zamanla hasar görebilmektedir. Bu nedenle söz konusu koruyucu giysilerin yılda bir kez kalite kontrol çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmaların sonucunda, atık nedenini belirlemedeki en büyük problem; “tespit edilen yırtık alanı ne kadar olmalı?”, “yırtık sayısı kaç tane olmalı?” veya “bu yırtıktan ne kadar radyasyon geçer/geçmeli?” ve “hasarlı koruyucular için atık kriterim ne olmalı?” sorularının cevabıdır. Bu nedenle, öncelikle maliyeti oldukça yüksek olan kurşun önlüklerin (400\$-1.200\$) kalite kontrol çalışması sonucunda, riskli ve hasarlı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Atık demek için kriterlerin ne olması gerektiğini belirlemek zordur, ancak kişinin bireysel değerlendirilmesine de bırakılmamalıdır. Bu konunun önemini vurgulayarak ilk atık kriterlerini tanımlayan, Lambert ve McKeon olmuştur. Onlar, basit bir oran ile ortalama kurşun koruyucu giysi maliyetinin 400\$ olmasını göz önüne alarak, kurşun önlüğün hasarından dolayı doz kriteri, 0,4 mSv olarak belirlemiştir. 0,4 mSv değeri baz alındığında, eğer bir kurşun önlüğün toplam hasar alanı 670 mm² (29 mm çaplı bir delik) ise bu önlük atılmalı ve yenisi alınması gerektiği vurgulanmıştır (Lambert ve McKeon, 2001). Stam ve Pillay, yaptıkları çalışmada; atık kriteri oluşturmak için yasal yıllık doz limiti 20 mSv'lık dozun %10'u, yani 2 mSv/yıl en düşük doz olarak göz önüne almışlardır (Stam ve Pilay, 2008). Kurşun önlükteki büyük bir delikten dolayı ek etkin doz değeri, yıllık dozu 3'te bir oranında etkileyeceği ve bunun yanısıra ampirik olarak 1/3 faktörüyle dozda azalma gerçekleşmesi pratik atık kriterini oluşturduğunu ifade etmişlerdir. (ICRP Pun.35, 1982b). Bu nedenle ek doza bağlı atık kriteri, ($E_{ek-atık} = 1/3 \times 1/3 \times 2 \text{ mSv}$) 0,22 mSv olarak belirlemiştir. Yaptıkları çalışmada, 96 önlükten %3'lük kısmının 0,62 mSv ve 0,79 mSv'lık gibi kabul edilemeyen ek dozlarından dolayı atık olarak belirlemiştir (Stam ve Pilay, 2008). Duran ve Philips ise yaptıkları çalışmada, tüm vücut kurşun önlükte 10 cm², böyle bir önlüğün troid kısmında ise 0,2 cm² (20 mm²) bir yırtık, atık kriterini oluşturmuştur. Ayrıca kullanılan troid koruyucular için atık kriteri ise 0,03 cm² (3mm²) iken zırhlı bir eldiven için bu değer 3 cm² olarak bulunmuştur. Bununla birlikte % geçirme oranları için sağlam alandaki geçirme miktarının %5 fazlası atık kriteri olarak alınmıştır (Duran ve Emmy, 2003).

Bu çalışmalar ışığında çalışmamızda atık kriterleri, delik/yırtık alanının 10 cm² ve fazlası, % geçirme oranları %5 ve fazlası ve etkin doz değeri 0,4 mSv olarak belirlendi. Çalışmamızda, gonad ve troid koruyucularda herhangi bir hasar bulunmamakla birlikte kurşun önlük değerlendirmesinde sadece tek kat kurşun önlük tipi değerlendirmeye alındı. Bu koşullar altında gerçekleştirilen çalışmaya göre bir ya da birden fazla delik/yırtık olan kurşun önlüklerin %7,8'i hasarlı olarak belirlenirken %12,8'i riskli olarak değerlendirildi.

Bu çalışma sonucunda; kurşun önlüklerin hasarlı olanlarının atılarak yerine yenilerinin alınmasına ve riskli olarak belirlenenlerin 6 ay sonra tekrar değerlendirilmesine karar verildi. Bununla birlikte çalışmanın sonunda elde ettiğimiz delik/yırtık alanına karşı çizilen etkin doz kalibrasyon eğrisi, sonraki yıllarda kurşun önlük kalite kontrol çalışmalarında delik/yırtık alanı göre etkin doz değerlerinin bulunmasında kolaylık sağlayacaktır. Böylelikle daha pratik bir şekilde hasarlı ve atık önlüklerin tespiti yapılabilecektir. Bununla birlikte, 0,5 mmPb önlüklerin daha iyi koruma sağlaması amacıyla tercih edildiği görülmüştür. Ağır olması nedeniyle taşınması zor ve hasarlanma olasılığı yüksek olan bu 0,5 mmPb kurşun önlükler yerine çalışma alanına uygun 0,35 mmPb veya eşdeğeri kompozit malzemeden yapılmış koruyucuların kullanılması önerilir.

4. Sonuç

Bu çalışma sonucunda, hasarlı kurşun önlüklerin atık kriterlerine bağlı olarak kullanımdan çıkarılması, gereksiz kurşun önlük atığının olmasını önlemiştir. Kurşun önlük incelemelerinin, yıllık kalite kontrol çalışmaları içinde düzenli yapılması atık oranlarını daha da düşürebileceği söylenebilir. Ayrıca bu çalışma radyasyon çalışanlarına kişisel korunmada koruyucu giysileri daha güvenle kullanabilecekleri güvenini sağlayacaktır. Bu çalışma sonucunda elde edilen atık kriterleri, hastaneler ve ilgili kurumlarda kullanılan kurşun koruyucu giysilerin kalite kontrolleri sonrasında atık kararının belirlenmesine yol gösterici olacaktır.

Teşekkür

Yazarlar, hastanemiz Radyasyon Güvenliği Komitesi ile işbirliği içerisinde gerçekleştirilen bu çalışmada floroskopi cihazının kullanımını izin veren Radyoloji AD'ına teşekkürü bir borç bilir.

Kaynakça

- Çetin H, Yurt A, Yüksel SH. The absorption properties of lead-free garments for use in radiation protection. *Radiat Prot Dosim* 2016; 73(4):345-350.
- Duran P and Emmy B. Rejection criteria for defects in lead apparel used for radiation protection of x ray workers. *Radiation Protection Services BC Centre for Disease Control* 2003; p:1-7.
- International Commission on Radiological Protection. General principles of monitoring for radiation protection of workers. Oxford Pergamon Press; ICRP Publication 35. *Ann ICRP* 9(4):1982b.
- International Commission on Radiological Protection. Protection from ionizing radiation from external sources used in medicine. Oxford: Pergamon Press; ICRP Publication 33, *Ann ICRP* 9(1):1982a.
- Jones A and Wagner L. On the (f)utility of measuring the lead equivalence of protective garments. *Med Phys* 2013; 40(6): 063902-1-063902-9.
- Lambert K. and McKeon T. Inspection of lead aprons: criteria for rejection. *Health Phys* 2001; 80(5): 67-9.
- Oyar O. and Kışlalıoğlu A. How protective are the lead aprons we use against ionizing radiation? *Diagn Interv Radiol* 2012; 18: 147-152.
- Stam W. and Pilay M. Inspection of lead aprons: A practical rejection model. *Operational Rad Safety* 2008; 95(2): 133-136.
- Zuguchi M, Chida K, Taura M, Inaba Y, Ebata A, Yamada S. Usefulness of non-lead aprons in radiation protection for physicians performing interventional procedures. *Radiat Prot Dosim* 2008; 131(4):531-534.



Determination of SWRC for Unsaturated Sands, Comparative Study – Filter Paper Method Versus Hanging Column Technique

Ayşe Pekrioğlu Balkıs¹, Bestun Shwan², Svala Surchi³

¹ Cyprus International University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Nicosia, North Cyprus (ORCID: 0000-0001-7400-7211)

² Koya University, University Park, Danielle Mitterrand Boulevard, Koysinjaq KOY45, Koya, Iraq

³ Cyprus International University, Civil Engineering Department (MSc), Nicosia, North Cyprus

(First received 13 March 2019 and in final form 8 June 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.539620)

ATIF/REFERENCE: Pekrioğlu Balkıs, A., Shwan, B. & Surchi, S. (2019). Determination of SWRC for Unsaturated Sands, Comparative Study – Filter Paper Method Versus Hanging Column Technique. *European Journal of Science and Technology*, (16), 403-413.

Abstract

Soil water retention characteristic is the key soil property used in many applications in the fields of irrigation, hydrology, geotechnical engineering and soil science in general and there are different methods used to obtain SWRC. Filter paper method and Hanging column test methods are two of them. The use of filter paper method for sands is quite limited in the literature in which only a number of studies have been conducted using this method. This study, therefore, aims to use the filter paper method for measuring matric suction for two different types of sands. Samples were prepared using the water pluviation technique. The samples were left to dry out and then monitored by weight to obtain different values of degree of saturation. This is to extend suction measurement beyond the residual suction and to fully define the shape of the soil water retention curve. The filter paper method then was validated with the hanging column technique, which is a method of controlling and applying suction. The obtained results are presented in order to highlight the differences / similarities between the methods and the advantages / disadvantages of each one. Suction values were derived using three different calibrations proposed by Chandler et al. (1992), ASTM D5298-03 (2007) and Marinho et al. (2006) for Whatman 42 filter paper. Matric suction obtained from equation recommended by (Chandler et. al) ranged from (3.523 to 45.233 kPa), 1.5 to 41.05 kPa by (ASTM) and 1.04 to 45.6 by (Oliveira & Marinho)'s recommendations for Soil-1. While for Soil-2 the highest suction value was 5.02 kPa (Chandler et al.) and 2.75 kPa, 2.29 kPa were observed by using (ASTM, Oliveira & Marinho, 2006) equations respectively. The lowest suction values were 2.96 kPa (Chandler et al.), 1.03 kPa ASTM D5298-03 (2007) and 0.68 kPa (Oliveira & Marinho, 2006). Although the FP is an indirect method of measuring suction in unsaturated soils, it has not been utilized broadly for fine-grained unsaturated sands. Results also showed that as degree of saturation increases suction values decreases. The use of the filter paper method for unsaturated fine sands is quite limited in the literature in which only a number of studies can be found using the filter paper method for unsaturated sands. Therefore, this paper provides an insight on the use of filter method for unsaturated fine sands. Testing two sand soil with different particle size distribution showed that Soil 1 is better than Soil 2 to be used for FP method. And this result is a good show for the range of utilization of FP method in fine sand soil.

Keywords: Filter paper; Hanging column technique; Matric suction; Soil water retention curve

Doymamış Kumlarda Toprağın Suyu Tutma Eğrisi Tayini, Karşılaştırmalı Çalışma - Asılı Kolon Tekniğine Karşı Filtre Yöntemi

Öz

Toprağın su tutma özelliği, genel olarak sulama, hidroloji, jeoteknik mühendisliği ve toprak bilimi alanlarında birçok uygulamada kullanılan temel toprak özelliğidir ve literatürde toprağın suyu tutma eğrisini elde etmek için kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Filtre kağıdı yöntemi ve Asılı sütun test yöntemleri bunlardan ikisidir. Filtre kağıdı yönteminin kum zeminler için kullanımı literatürde oldukça sınırlıdır. Her ne kadar filtre kağıdı yöntemi, doymamış topraklarda emme ölçmenin dolaylı bir yöntemi olsa da, ince daneli

¹ Corresponding Author: Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa, KKTC, ORCID: 0000-0001-7400-7211, apekrioglu@ciu.edu.tr

doymamış kumlar için geniş çapta kullanılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışma doymamış ince kumlar için filtre yönteminin kullanımı hakkında bilgi edinilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada, iki farklı granülometriye sahip kum tipi zeminde matris emişini ölçmek için filtre kağıdı yöntemi kullanılarak bu yöntemin etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Numuneler su pluviasyonu tekniği kullanılarak hazırlanmıştır ve farklı doyma derecesi değerleri elde edilmiştir. Bu, emme ölçümünü ve toprak su tutma eğrisinin şeklini tam olarak tanımlamak için yapılmıştır.

Emme değerleri, üç farklı kalibrasyon kullanılarak elde edildi, bunlar Chandler ve arkadaşları (1992), ASTM D5298-03 (2007) ve Marinho ve diğ. (2006)'dır. Zemin-1 için (Chandler ve diğerleri) tarafından önerilen eşitlikten elde edilen matris emme değerleri (3.523 ila 45.233 kPa), 1.5 ila 41.05 kPa (ASTM) ve 1.04 ila 45.6 (Oliveira & Marinho)'dur. Zemin-2 için en yüksek emme değeri 5.02 kPa (Chandler ve diğerleri) ve 2.75 kPa iken, sırasıyla (ASTM, Oliveira ve Marinho, 2006) denklemleri kullanılarak 2.29 kPa emme değeri gözlenmiştir. En düşük emme değerleri 2.96 kPa (Chandler ve diğerleri), 1.03 kPa ASTM D5298-03 (2007) ve 0.68 kPa'dır (Oliveira ve Marinho, 2006). Filtre kağıdı yönteminden elde edilen sonuçlar daha sonra asılı kolon tekniği sonuçları ile karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, iki yöntem arasındaki benzerlikleri/farklılıkları belirlemek ve avantajlı/dezavantajlı durumları değerlendirmek amacıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Zemin-1'in Zemin 2'ye göre filtre kağıdı yöntemi için daha uygun bir zemin olduğunu göstermiştir. Ve bu sonuç, ince kum zeminde filtre kağıdı yönteminin kullanılabileceğinin bir göstergesidir.

Anahtar Kelimeler: Filtre kağıdı; Asılı kolon tekniği; Matris emme; Toprağın suyu tutma eğrisi

1. Introduction

Several disciplines such as agricultural, soil science, hydrogeology, ceramics, petroleum especially geo-environmental and geotechnical engineering, have contributed towards current understanding of unsaturated soil mechanics. The performance of an unsaturated soil in engineering is significantly affected by the suction in the soil. Theoretical concepts related to soil suction were initially introduced by soil scientists with the aim of describing the forces of migration and equilibrium of soil water for agricultural purposes. The theoretical concepts were later adopted in the field of geotechnical engineering due to the need for the establishment of unsaturated soil mechanics. Accordingly, a theoretical framework for unsaturated soil mechanics has been well developed and its behavior is identified to be governed in terms of two independent stress state variables – matric suction ($u_a - u_w$) (where u_a is pore air pressure; u_w is pore water pressure) and net normal stress ($\sigma - u_a$), [1].

Knowledge of soil suction in unsaturated soils is highly required for solutions in various geotechnical problems in the soil type. Typical of such engineering problems are related with swelling and shrinkage, slope stability, compaction and lateral pressures. Appropriate assessment of soil suction is required for the analysis of the problematic soils – residual soils, collapsing soils, swelling soils and soft clays. One of the key features of the unsaturated soils is the soil water retention curve (SWRC) which represents the fundamental relationship between matric suction and soil water. SWRC generally reflects soil behaviour for adsorption and desorption processes. It is usually presented as a relationship between water content (gravimetric or volumetric), or degree of saturation against soil suction which can be expressed in kPa.

The relationship between the capillary pressure (or matric suction), and water content has been traditionally represented using soil water retention curves (SWRC). Methods available to obtain this relationship include the Hanging Column Test, Pressure Extractor, Chilled Mirror Hygrometer, and Centrifuge Test (ASTM 2008). SWRC's have often been assumed to be independent of the soil void ratio, as a state parameter. Even the most commonly used SWCC mathematical models such as Van Genuchten (1980) and Brooks and Corey (1964) do not account for changes on it [2].

The van Genuchten equation is expressed as:

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) [1 + (\alpha h)^n]^{-m} \quad (1)$$

where, θ is the volumetric water content; h is the pressure head; θ_s and θ_r represent the saturated and residual water contents, respectively; α , n and m are empirical shape parameters. The residual water content is one of the most important parameters to express the soil water characteristics and hydraulic conductivity in unsaturated soils. . Residual water content is the water content for which the gradient becomes zero.

A Brooks-Corey model is a type of nonlinear curve fitting model for fitting water retention characteristics using experimental data. The Brooks-Corey functions can be defined as:

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) (\alpha h)^{-\lambda} \quad (2)$$

Where, θ_r is the residual water content (cm^3/cm^3), θ_s is the saturated water content (cm^3/cm^3), h is the matric potential (cm), λ and α are empirical shape parameters.

Generally, porous materials have a fundamental capability to attract and retain water. In engineering terms, the presence of this fundamental feature in soils is termed as suction or negative pore water pressure. According to [3], soil suction and positive pore water pressure are two very important parameters with regards to the description of the behaviour of unsaturated and saturated soils, respectively. For several engineering applications, the distinction in suction based on the seasonal moisture movement is very vital information.

According to [1], the measurement techniques for soil suction can be divided into two categories: direct or indirect. For engineering practices, the direct measurement of matric suction would be most desirable. However, this has been limited to less than 100 kPa because of cavitation problem in the measuring system. As a result of the limitations of the direct measurement of matric suction, any development in the indirect measurement could feature difficulty in verification and interpretation. Most of the instruments are found to have technical limitations with regards to their range of measurements, the equilibration times, equipment deterioration and cost.

Consequently, there is a need for a suction measurement approach which is capable of covering the full range of measurement and can be adopted for a routine basis while at the same time it is economical or inexpensive. The filter paper is an indirect method of measuring suction in unsaturated soils; it has not been utilized broadly for fine sands. The aim of this paper is to use the filter paper method for measuring matric suction for different types of sands and compare results with respect to values obtained by hanging column technique. The objective is to investigate the filter paper method as an alternative approach for measuring soil suction for sandy soil. In addition, the available calibration techniques for filter paper drying curve are investigated. Soil suction measurement for unsaturated soils would also be investigated by conducting laboratory work with reference to literature.

2. Methodology

2.1. Material Selection

In this study, two types of sand soils were collected locally in Koy Sanjaq town located in Erbil. Sieve analysis was performed on soil samples to see their particle size distribution. Soil samples were given in Figure 1a and 1b.

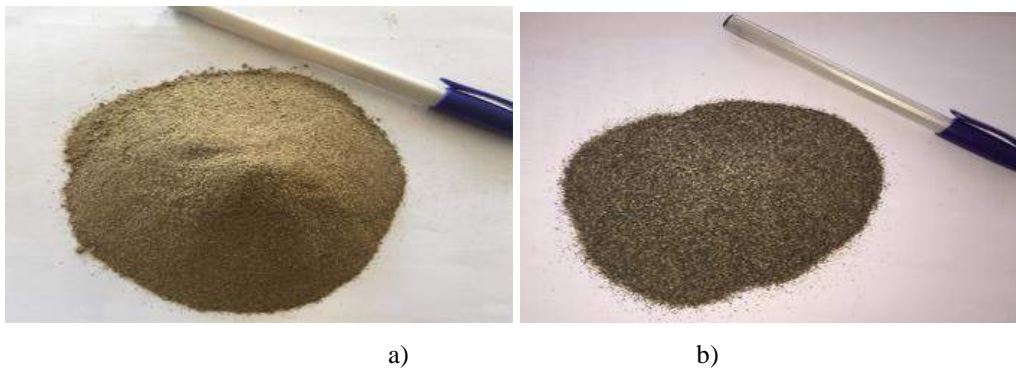


Figure 1. a)Soil 1 b)Soil 2

After pouring the dry soil sample onto the sieve, the sieve set was subjected to a shaker for about 10 minutes. After sieving, when clusters and aggregated particles were observed, wet sieving was done. Aggregated samples were washed till to have clear water passing through the bottom sieve. Samples retained on each sieve corresponding to a specific diameter were placed in containers and left overnight in an oven for drying. Then, samples were classified according to their particle diameters and placed in plastic bags together with the sample obtained from the mechanical sieving (samples with no cluster). Unified Soil Classification System was used to classify the soil (ASTM D2487-11) and ASTM D7263 - 09(2018)e2 was used for dry density determination.

Soil samples were obtained by mixing different percentages and sizes, and the values are given in Table 1. Two sand soil (SP) having different particle size distribution which are suction compatible for both the filter paper (FP) and the hanging column technique (HCT) were used to analyze the use of FP method effectiveness of suction measurement on unsaturated fine sands.

Table 1. The suggested percentage of samples which were mixed together

Samples	Sieve size (mm)	Suggested percentage %
---------	-----------------	------------------------

Soil-1	0.300-0.425	40
	0.150-0.212	40
	0.090 -0.106	20
Soil-2	0.425-0.500	40
	0.300-0.425	40
	0.150-0.212	20

After mixing defined percentages of sands, sieve analysis were conducted for Soil-1 and Soil-2 that their particle size distributions are given in Figure 2. Soil-2 has finer particle size distribution. Soils are classified as poorly graded sand according to USCS (Unified Soil Classification System). Soil-2 contains 40% medium sand however Soil-1 is purely fine sand which is shown also in Figure 2. Table 1 gives different amount of sand soil passing through different sizes of sieves.

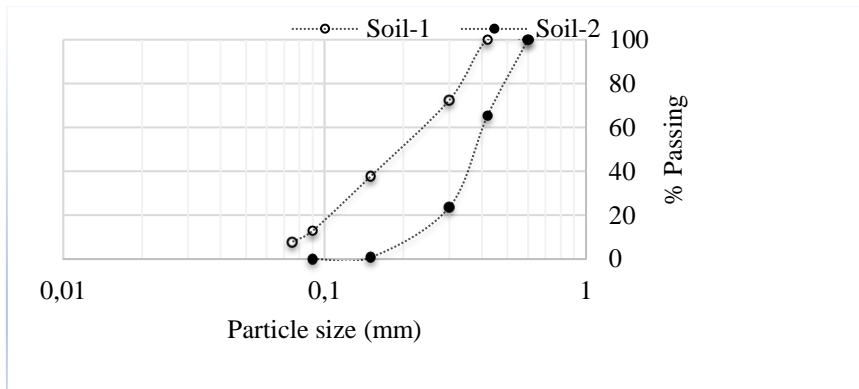


Figure 2. Particle size distributions of Soil-1 and Soil-2

2.2. Sample Preparation for FP Method and Suction Measurement

In this study, Whatman No. 42/ Ashless (diameter 55 mm) of filter paper was used for matric suction measurement [4]. Samples were prepared using the water pluviation technique and containers of known sizes (diameter, height & volume) were used. The water pluviation method resembles the air pluviation, except that the medium in which the sand is pluviated is de-aired water instead of air. For the water pluviation method, a sample is boiled, an de-aired, in a pycnometer. This pycnometer is Nled to the brim with water and overmired into the ring shear cell which was itself filled with distilled water. The pycnometer must be moved smoothly dong the ring shear ceil's channel to permit the formation of a uniform sample. Soil samples were poured into containers using hanging funnel and a pipette at zero distance to evenly distribute soil particles and ensure smooth surface to give close contact between samples and the filter paper that will be placed on it. Also samples were left for drying and then monitored by weight to obtain different values of degree of saturation. Two samples were placed on each other by placing filter paper between them. By using tweezers, three filter papers were placed on top of each of the soil sample, where top and bottom filter papers were for protection against flow out of particles and the one in the middle was used to get suction data. The two glass containers were sandwiched and sealed using electrical tape to ensure they were held together properly and are airtight. Also melted candles wax was used for waxing the sample to protect it from any vapor transfer and ensure minimal effect of surrounding temperature.

Containers were weighed and recorded as empty cold tare mass (T_c) by using balance with 0.0001 gr. accuracy. After an equilibrium time of seven days, the containers were opened and the middle filter paper was taken out carefully by using tweezers in few seconds (Figure 2a) and placed into previously weighted empty container. Mass of wet filter paper and cold tare was recorded as M_1 .



Figure 2. Sampling: a) Removing middle filter paper by using tweezers b) Samples left inside oven overnight

After the overnight period of the samples in the oven (Figure 2b), before taking them out, the lids were covered back and left in the oven for a further five minutes for equilibrium, afterwards the containers were weighed again and recorded as M_2 (mass of dry filter paper + hot tare). Then emptied containers weighed and recorded as hot tare mass (Th). The water content value of filter paper was determined by using following formula [6]. Table 2 shows calibration curves for Whatman 42 filter paper.

$$M_w = M_1 - M_2 - T_c + Th \quad (3)$$

$$M_f = M_2 - Th \quad (4)$$

$$W\% = \frac{M_w}{M_f} \times 100 \quad (5)$$

Table 2. Calibration curves for Whatman 42 filter paper

References	w%	Log ₁₀ (kPa)
<i>ASTMD5298-03 (2007) [6]</i>	w>45.3	2.412-0.0135w
<i>Chandler et al. (1996) [5]</i>	w>47	6.050-2.48 Log w
<i>Oliveira & Marinho (2006) [7]</i>	w>33	2.57-0.0154w

* where w is filter paper water content.

2.3. Hanging Column Technique

Hanging column apparatus was used in the experiment, which consists of three separate parts that include a suction supply part, a specimen chamber, and an outflow measurement tube. There is specimen chamber, which comprises a porous plate that holds the soil specimen to be tested. The porous plate or ceramic disk placed to diminish air bubble formations, and in order to remove the air bubbles that diffused through the ceramic disk the flushing system were incorporated, circular grooves below the disk used to remove the air from the ceramic plate. Figure 3 shows Hanging funnel and a pipette and Figure 4 shows the apparatus. The water coming out during experiment was measured and water height was checked to obtain matric suction values [8-9]. A transparent flexible plastic tube connected to the saturated sample chamber was used to connect the next end of the capillary tube (Burette) to the chamber of the suction apparatus using the same type of transparent tubes, de-aired water was used to fill the sample chamber. Samples were prepared using water pluviation technique. Size and mass of containers were obtained at the beginning and then soil samples were distributed evenly and placed into containers by using a pipette at zero distance using a hanging funnel. To ensure a smooth and flat surface, close contact between the particles and the samples with filter paper to be placed on it has been achieved. Samples were also left to dry and then monitored for weight to obtain different values of saturation degree. When the level of tension applied to the sample is very small and close to saturation (close to zero), using a Hanging Column is recommended. A hanging water column is a simple and very accurate method for applying small levels of tension to soil. 5 samples were prepared for both soil types.



Figure 3. Hanging funnel and a pipette



Figure 4. Hanging column test apparatus

3. Results and Discussion

3.1. Suction Measurement Results with FP Method

There were total of 15 soil samples for Soil-1 and 17 samples for Soil-2 used at different degree of saturation to define the shape of the soil water retention curve (SWRC). After obtaining water content and matric suction values by using three different equations, Figure 5 and Figure 6 were drawn to show relation between water content and matric suction for Soil-1 and Soil-2, respectively. The points on the graph correspond to the measurement of suction values in different degrees of saturation where suction increases with the decrease of water content (degree of saturation). Suction values calculated with three different method give similar behavior for Soil-1 which is finer than Soil-2. As degree of saturation increases suction values decreases.

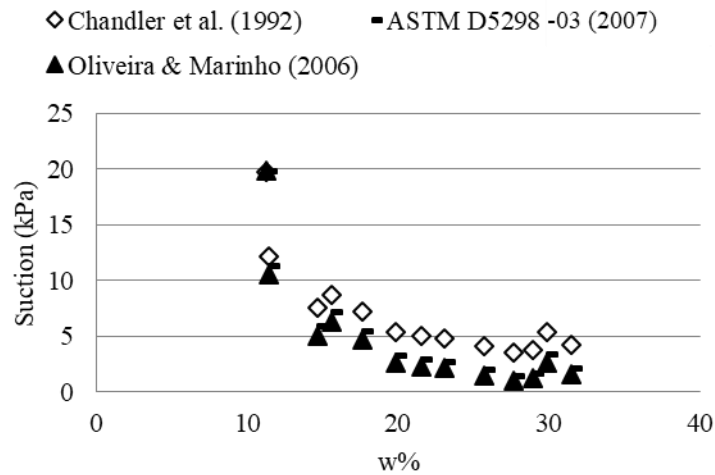


Figure 5. SWRC obtained for Soil-1

For Soil-1, all equations give similar behavior and values.

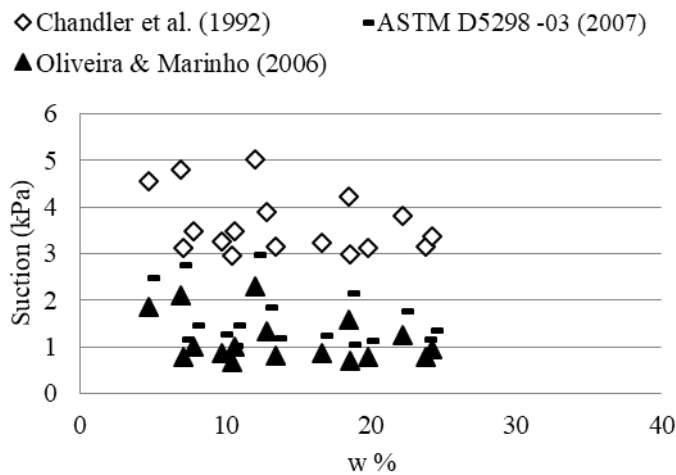


Figure 6. SWRC obtained for Soil-2

Suction values calculated by using ASTM D5298-03 (2007) and Marinho et al. (2006) give similar results for Soil-2, meanwhile suction values obtained from Chandler et al. (1992) equation gave higher suction values for the same water content values. Suction values does not show direct decrease for Soil-2 as in Soil-1.

3.2. Hanging Column Test Results

The suction measurement was carried out by hanging column test to obtain soil water retention curve. The equilibration time for Soil-1 and Soil-2 was 3 hr and 4 hr, respectively. From the observed soil water retention curve, two points along the curve were determined, namely; air entry value represented as the pressure at which the air entered to the pores of soil sample and residual condition where desaturation starts at transition stage.

Figure 7 shows the SWRC for Soil-1 where (291.55 gr.) of soil and (100 gr.) of water were used to saturate the sample. The drying path starts at water content of 34.3% that corresponds to degree of saturation 92%, where the second reading were water extracted at water content of 33.29% corresponds to degree of saturation 89% and 0.22 kPa suction measurement. The air entry value corresponds to the water content of 26.45% and 3.83 kPa suction measurement where the residual condition occurs at 8.86% of water content, which corresponds, to 6.01 kPa suction values. The highest suction value is 13.18 kPa at water content of 0.82 kPa as shown in Figure 7. The SWRC for Soil-2 is shown in Figure 7, where (338.5 gr. of soil with (91 gr.) of water were used to saturate the sample in which the soil suction has an air entry value of 1.41 kPa with the water content of 21.65% at 81% of degree of saturation and residual suction is 3.33 kPa with 3.45% of water content. The highest suction value recorded was 4.58 kPa at water content of 2.14%.

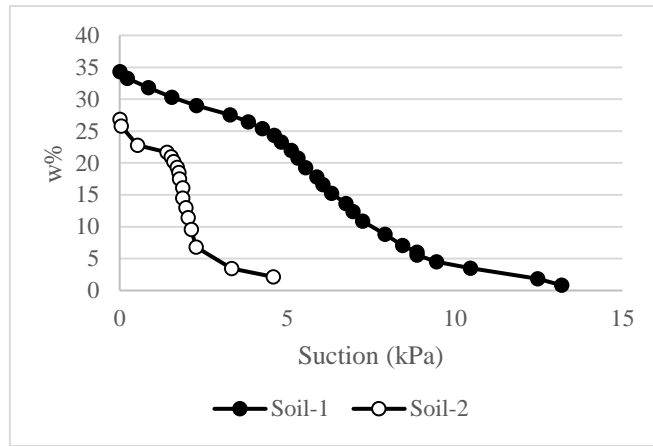


Figure 7. SWRC by HCT method

4. Comparison of SWRC Curves Obtained by FP Method and Hanging Column Test

Suction measurements, which were obtained by the HCT and FP methods, were compared. A comparison between the results of suction measurements using FP method and HCT for Soil-1 was shown in the Figure 8.

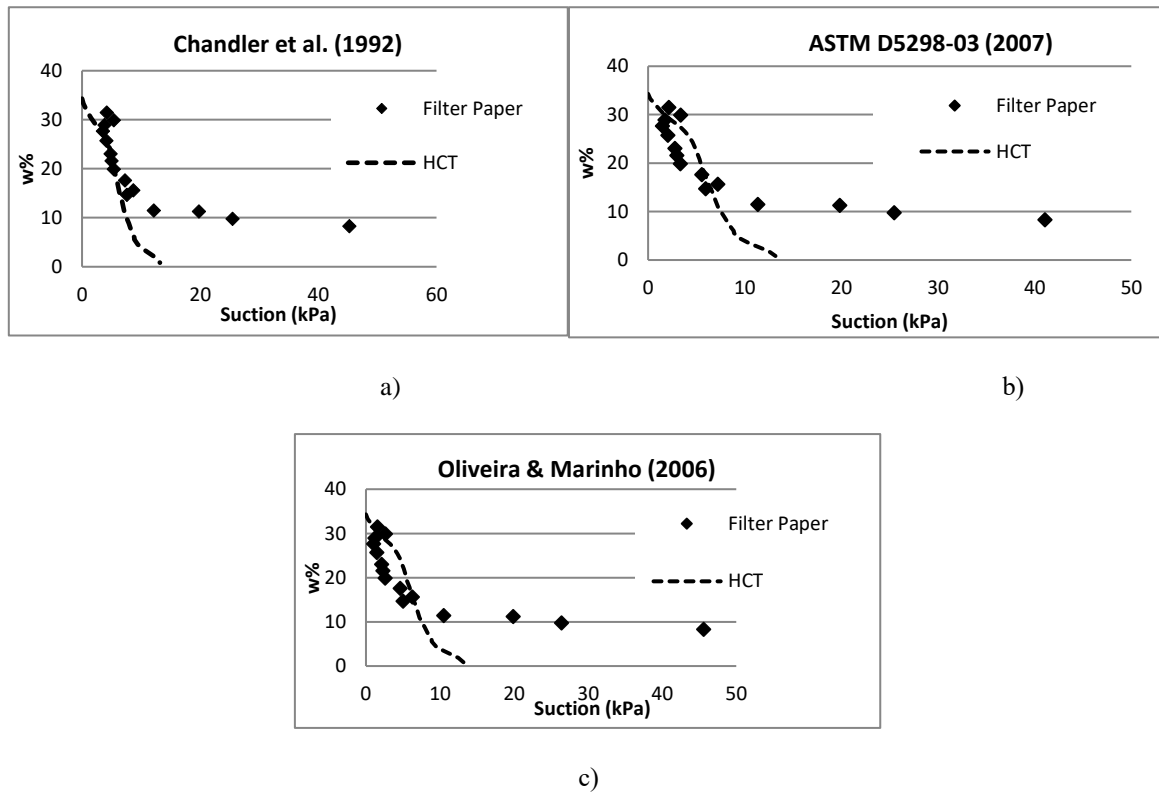


Figure 8. Suction measurement versus water content obtained using FP method and HCT for Soil-1

Points determined by FP method had higher values than the results of HCT however, in some points which corresponds to higher water content (higher degree of saturation) it shows a good agreement, possibly due to having enough water amount to flow from the defined height. The results of the FP reasonably matched well with the HCT, despite some discrepancy at higher suctions. The difference appears to be smaller than 0.5 for suction values, where in HCT the suction values of 5.87 kPa ($w = 17.79\%$) and 1.54 kPa ($w = 30.31\%$) fits well within the filter paper suction values (kPa) of 5.54 ($w = 17.61\%$) and 1.73 ($w = 28.92\%$).

For Soil-2 the HCT compared to all the three recommendations in order to observe the best-fitted results between the two techniques.

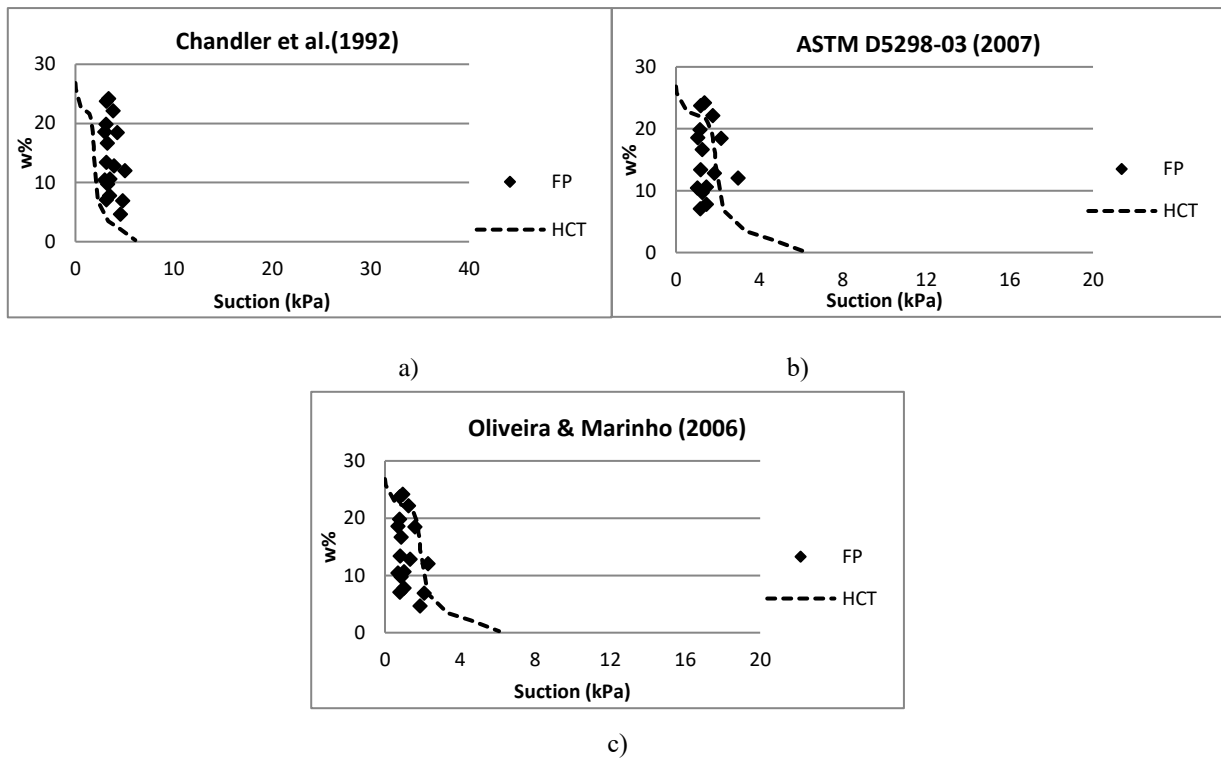


Figure 9. Suction measurement versus water content obtained using FP method and HCT for Soil-2

Figure 9a shows the comparison of suction values that estimated from filter paper method by using the equation suggested by ASTM with hanging column test. The results were close, into which the best fitted point was observed at water content of 12% where the suction value of FP measurement was 1.85 kPa and 1.97 kPa for HCT.

Figure 9b shows a good agreement between the estimated suction values from FP method that obtained by the equation which suggested by Marinho et al. (2006) and the suction values observed from HCT. From which more than two points lie on each other that shows relatively similar measurements of suction between the two methods, in which at 6.8% water content suction values for FP and HCT were (2.1 - 2.27 kPa) respectively and for 21.8% the suction values measured were (1.26 kPa for FP, 1.41 kPa) for HCT.

As shown in (Figure 9c) the results from both techniques were obtained to be similar considering Chandler’s calibration. The closest point appeared at water content of 11.44% where the suction was 2.04 kPa in HCT while for 10.44% the value of suction was 2.96 kPa in filter paper method.

Hanging column method measures a higher volumetric moisture content for each suction head except the zone in residual moisture for beach sand with respect to large soil column test [10-11]. The portion of the SWCC measured with the hanging column is comparable to that measured with the LFPPE (leak-free pressure plate extractor), indicating that the same water retention characteristics were measured using the two independent measurement techniques [12]. Brooks and Corey (1964) and van Genuchten (1980) fits have been obtained for data obtained for Soil 1 and Soil 2. Parameters calculated are given in Table 3.

Table 3. Brooks and Corey and van Genuchten model parameters

Model	Soil Type	Equation	Parameters	R ²	AIC
Brooks and Corey	Soil-1	$S_e = (h/h_b)^{-\lambda}$ ($h > h_b$)	$\theta_s = 88.021$ $\theta_r = 0.006374$ $h_b = 19.449$ $\lambda = 0.54944$	0.69356	147.01
		$S_e = 1$ ($h \leq h_b$)			
van Genuchten	Soil-1	$S_e = (1/(1+(\alpha h)^n))^m$	$\theta_s = 81.814$ $\theta_r = 2.0213e^{-04}$	0.99367	46.127

		$(m=1-(1/n))$	$\alpha = 0.016991$ $n = 4.3853$		
<i>Brooks and Corey</i>	Soil-2	$S_e = (h/h_b)^{-\lambda}$ ($h > h_b$) $S_e = 1$ ($h \leq h_b$)	$\theta_s = 592.11$ $\theta_r = 0.0046846$ $h_b = 3.4971$ $\lambda = 0.50578$	0.91285	134.37
<i>van Genuchten</i>		$S_e = (1/(1+(\alpha h)^n))^m$ $(m=1-(1/n))$	$\theta_s = 603.05$ $\theta_r = 3.5485$ $\alpha = 0.50369$ $n = 1.3470$	0.79877	148.60

- AIC (Akaike Information Criterion) = $n \ln(RSS/n) + 2k$, where n is sample size, RSS is residual sum of squares and k is the number of estimated parameters.
- Effective saturation, $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$. Therefore $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) S_e$. [13]

For Soil-1, van Genuchten model predicts soil water characteristic more accurately with five parameters model and Brooks and Corey model having four parameters model gives best fit for Soil-2.

4. Conclusions and Recommendations

Filter paper method is an indirect method for measuring matric suction, which allows a large range of suctions to be measured. The use of the filter method for unsaturated fine sands is quite limited in the literature therefore in this study two types of soil were investigated which were classified as poorly graded sand to obtain the matric suction (using the contacted method). There were a total of 15 soil samples for Soil-1 and 17 samples for Soil-2, which were prepared at different degree of saturation. Suction values were derived using three different calibrations proposed by Chandler et al. (1992), ASTM D5298-03 (2007) and Marinho et al. (2006) for Whattman 42 filter paper. Matric suction obtained from equation recommended by (Chandler et. al) ranged from (3.523 to 45.233 kPa), 1.5 to 41.05 kPa by (ASTM) and 1.04 to 45.6 by (Oliveira & Marinho)’s recommendations for Soil-1.

While for Soil-2 the highest suction value was 5.02 kPa (Chandler et al.) and 2.75 kPa, 2.29 kPa were observed by using (ASTM, Oliveira & Marinho, 2006) equations respectively. The lowest suction values were 2.96 kPa (Chandler et al.), 1.03 kPa ASTM D5298-03 (2007) and 0.68 kPa (Oliveira & Marinho, 2006). Soil water retention curves were also illustrated from the soil moisture content of the samples versus the suctions that were obtained from both types of soils using all the three recommendations. Suction measurement was carried out by hanging column technique, which is a method of controlling suction used broadly for coarse-grained soils. In order to compare it with the results from suction values that was obtained from filter paper method.

To validate the FP results, the HCT method was utilised and results for both soil types were compared. In general, there was a good agreement between the matric suction values that were obtained by FP and HCT methods. However, it showed good agreement between all the proposed equations but the better agreement for Soil-1 was suction values that obtained from the equation proposed by Chandler et al. (1992) and for Soil-2 the equation that was proposed by Oliveira and Marinho (2006). Due to the reason of applying different heads and water suctions in both methods, there are some discrepancies in the obtained results.

Although the FP is an indirect method of measuring suction in unsaturated soils, it has not been utilized broadly for fine-grained unsaturated sands. The use of the filter paper method for unsaturated fine sands is quite limited in the literature in which only a number of studies can be found using the filter paper method for unsaturated sands. Therefore, this paper provides an insight on the use of filter method for unsaturated fine sands. Testing two sand soil with different particle size distribution showed that Soil 1 is better than Soil 2 to be used for FP method. And this result is a good show for the range of utilization of FP method in fine sand soil. Huriye et. al. [14] agrees with the similar behavior. It is recommended to study filter paper and hanging column test on larger range sand soil to see the repeatability of the test and differences and similarities in the results.

References

- [1] G. Quagliga et al., "New device for experimental determination of the soil-water retention surface," Proceedings of the XV Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Buenos Aires, Argentina, 15-18 November, pp. 2012-2219.
- [2] D. G. Fredlund and H. Rahardjo, "Soil mechanics for unsaturated soils," John Wiley & Sons., 1993.
- [3] S. L. Houston, W. N. Houston and A. M. Wagner, "Laboratory Filter Paper Measurements," Geotechnical Testing Journal, vol. 17, no. 2, pp. 185-194., 1994.
- [4] Whatman,
https://static.fishersci.eu/content/dam/fishersci/en_EU/promotions/GE_whatmam_filtration_offers/Brochures/Fisher%20Q4%20Promo%20Brochure_SEK_PRINT.pdf
- [5] R. J.Chandler, M. S. Crilley and G. Montgomery- Smith, "A low-cost method of assessing clay desiccation for lowrise buildings," Proc. Instn. Civ. Engrs Civ. Engng., pp. 82-89, 1992.
- [6] ASTM D5298-03, (2007) Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper, American Society of Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards, Vol.4, No.8
- [7] F. A. M. Marinho and O. M. Oliveira, "The filter paper method revised," ASTM Geotechnical Testing Journal, USA, 29 (3), pp. 250-258, 2006.
- [8] G. E. Swarbrick, "Measurement of Soil Suction Using the Filter Paper Method," Unsaturated Soils: Proceedings, 1st International Conference on Unsaturated Soils, A. A. Balkems, Rotterdam, Netherlands, pp. 653-658,1995.
- [9] S. K. Vanopalli, M. N. Nicotera and R. S. Sharma, "Axis Translation and Negative Water Column Techniques for Suction Control," Geotech Geol Eng, pp. 645-660, DOI 10.1007/s10706-008-9206-3, 2008.
- [10]A.M. Tang and Y.J. Cui, "Controlling suction by the vapor equilibrium technique at different temperatures and its application in determining the water retention properties of MX80 clay," Canadian Geotechnical Journal, vol.42, pp. 287-296, 2005.
- [11]G. Yan et al., "The measurement of primary drainage curve using hanging column and large soil column test", Geo Ottawa, 70th Canadian Geotechnical Conference, 2017
- [12]X. Wang and C.H. Benson, "Leak-Free Pressure Plate Extractor For Measuring the Soil Water Characteristic Curve", Geotechnical Testing Journal, March 2004, DOI: 10.1520/GTJ11392
- [13] Seki, K. (2007) SWRC fit - a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 4: 407-437. DOI:10.5194/hessd-4-407-2007
- [14] Bilsel, H.,Uygar, E., Aydin, E. (2000). Characterization of the soil water characteristic curves of selected soils from North Cyprus and determination of their unsaturated permeability functions, Proceedings of the Fourth International Conference, Advances in Civil Engineering, Gazimagusa, 2-4 November, North Cyprus.



Secure Gateway for the Internet of Things

Cengiz Toğay^{1*}, Gökhan Mutlu², Durmuş Kurtuluş³, Faik Özgür⁴

¹ Uludag University, Faculty of Engineering, Computer Engineering Department, Bursa, Turkey (ORCID: 0000-0001-5739-1784)

² EMKO Electronic, Research Center, Bursa, Turkey (ORCID: 0000-0002-0674-2908)

³ EMKO Electronic, Research Center, Bursa, Turkey (ORCID: 0000-0002-1154-5300)

⁴ Uludag University, Faculty of Engineering, Computer Engineering Department, Bursa, Turkey (ORCID: 0000-0001-5363-5737)

(First received 10 February 2019 and in final form 11 June 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.524783)

ATIF/REFERENCE: Toğay, C., Mutlu, G., Kurtuluş, D. & Özgür, F. (2019). Secure Gateway for the Internet of Things. *European Journal of Science and Technology*, (16), 414-426.

Abstract

Internet of Things (IoT) includes connected devices such as industrial embedded devices, vehicles, smart home appliances, sensors, and actuators. Even non-internet-enabled physical devices can be part of the IoT system through gateways. IoT platforms are getting the attraction of the attackers because of the security weakness of the constrained devices. They can use the IoT devices for DDOS attacking or directly attack the device to damage the overall system. Since several communication industry standard protocols such as MQTT, AMQP, and COAP can be utilized in an environment, communication between devices can be provided through a broker. Unencrypted communications can be sniffed; therefore, username and passwords can be stolen or message content can be modified by an attacker. Therefore, secure authentication and encrypted communication are required in order to make the systems secure. TLS based approaches can be utilized to provide encrypted communication. However, constrained devices cannot handle asymmetric encryption algorithms. In this paper, we propose a new approach for IoT gateways with the utilization of a secure element which has storage for keys, true random generator, and AES 128-bit encryption capability. The proposed approach includes authentication and encrypted communication between the gateway and the broker. We also proposed a new method to provide simultaneous encryption and MQTT based communication with the utilization of physical I²C property of the ARM Cortex-M3. The secure element/chip is utilized in two different embedded devices, namely new developed embedded device (ARM Cortex-M0) and a demo card (ARM Cortex-M3) to test the approach and measure performances. We also investigate message integrity methods through the cryptographic hash (such as MD5, SHA-1, and SHA-2) or cyclic redundancy check (CRC32/64) algorithms.

Keywords: Internet of Things, Authentication, Encryption, Modbus, Embedded Software.

Nesnelerin İnterneti için Güvenli Ağ Geçidi

Öz

Nesnelerin interneti cihazları, endüstriyel gömülü sistemler, araçlar, akıllı ev aygıtları, sensörler ve işleticiler gibi birbirine bağlı cihazlardan meydana gelmektedir. İnternete bağlanma imkanı olmayan cihazlar dahi ağ geçitleri sayesinde bir nesnelerin interneti sisteminin parçası olabilmektedirler. Nesnelerin interneti sistemleri gömülü sistemlerin sahip oldukları donanım sınırları nedeni ile saldırıların hedefi olmaya başladı. Saldırıları bu cihazları DDOS ataklarından kullanabilmekte veya doğrudan ilgili cihaza yapılan

¹Corresponding Author: Uludag University, Faculty of Engineering, Computer Engineering Department, Bursa, Turkey, ORCID: 0000-0001-5739-1784, ctogay@uludag.edu.tr

saldırıları ile bağlı oldukları sistemlerde çok ciddi hasarlara neden olabilmektedirler. Bir ortamda birden fazla MQTT, AMQP ve COAP gibi iletişim protokolünün kullanılması nedeni ile cihazlar arasındaki iletişimde aracı olarak bir aracı/broker kullanılabilir. Saldırganlar şifresiz iletişimin bir sonucu olarak kullanıcı adı ve parolası gibi bilgileri ağ üzerinden elde edilebilmekte ya da mesaj içeriklerini değiştirebilmektedirler. Sistemin güvenli hale getirmek için güvenli yetkilendirme ve şifreli iletişimi sağlamamız gerekmektedir. TLS tabanlı yaklaşımlar uygulanabilir. Ancak, kısıtlı gömülü sistemler asimetrik şifreleme yaklaşımlarını uygulamakta güçlük çekilmektedirler. Bu makalemizde nesnelerin internet ağ geçitleri için güvenli anahtar depolama, gerçek rastgele üretici ve 128 bit AES şifreleme/çözme özelliklerine sahip olan bir chipi baz alan bir yaklaşım önerilmektedir. Sunulan çalışma broker ile cihaz arasında kimlik doğrulama ve şifreli iletişim imkanı sunmaktadır. Sunulan çalışmada ayrıca ARM Cortex-M3'ün sahip olduğu fiziksel I²C özelliğini kullanan bir metod ile iletişim ve şifrelemenin aynı zamanda gerçekleştirilmesini sağladık. Bu çalışma için ARM Cortex-M0 işlemcisine sahip yeni bir gömülü sistem cihazı geliştirildi ayrıca ARM Cortex-M3 işlemcisine sahip bir demo kart kullanılarak önerilen yaklaşım test edildi ve performans değerleri ölçüldü. Ayrıca, mesajların bütünlüğüne yönelik olarak kriptografik hash (MD5, SHA-1 ve SHA-2) ve çevrimsel fazlalık sınaması (CRC32/64) algoritmaları kullanıldı.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Kimlik doğrulama, Şifreleme, Modbus, Gömülü Sistemler

1. Introduction

Today, the Internet of Things (IoT) devices are used widely, such as in smart agriculture, smart city, smart transportation, smart grid, e-health, and industrial solutions. IoT systems consist of various sensors and actuators. They need to share their status and be controlled by a remote entity such as other device or application. Because the IoT devices can support various physical and communication protocols, middleware approaches can be applied as represented in Figure 1. The broker is responsible for converting among well-known protocols such as the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) (Banks & Gupta, n.d.), Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) (ISO/IEC 19464:2014: Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) 1.0, 2014), and WebSockets. Data generated by IoT devices can be delivered to various subscribers by the Broker. For example, the consumers collect data and process them to conclude an action, or store them. Applications can also send some commands to IoT devices. Even non-internet-enabled physical devices can be part of the IoT system through IoT gateways as represented in Figure 1. The gateways provide communication between the devices in the network and the cloud services. They can also be responsible for data fusion, protocol conversion and adaptation, authentication, and secure data transportation.

In industry, both data and commands are considered valuable. IoT devices have to be prepared against various attacks such as hijacking the device or intercepting the traffic related to IoT devices. When an attacker modifies data or commands, production processes can be affected, or even some hazardous situations can occur. Numerous IoT devices are deployed without security implementations regarding the list of OWASP's IoT vulnerability list such as weak passwords, poorly implemented encryption, or unencrypted services ("OWASP IoT Vulnerabilities," n.d.)(Choi, Yang, & Kwak, 2018). IoT devices can be separated depending on the restrictions such as memory, computing performance, energy consumptions, and reliability of network connection. Security approaches applied to the IoT devices/systems are directly affected by these limitations. If computation performance is not high enough, we should prefer to use a lightweight security protocol with a small code size (Andy, Rahardjo, & Hanindhito, 2017). Because of the hardware costs and environment, some of the sensors communicate with the servers through IoT gateways.

An IoT gateway is developed that can communicate with the applications through a modified broker adapted from ActiveMQ. The modified broker has a new authentication and key exchange mechanism based on an external chip (ATAES132A ("ATAES132A," n.d.)) chip's features and encrypted communication. Although, the proposed approach is protocol and encryption algorithm independent, our gateway is designed to communicate with the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol (ISO / IEC 20922: 2016) and messages are encrypted with The Advanced Encryption Standard (AES) (FIPS 197: Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES), 2001)(Fathy, Tarrad, Hamed, & Awad, 2012). As represented in Figure 1, there are four components, namely:

- an application responsible for data processing and service providing,
- a broker bridging messages among publishers and subscribers such as IoT gateways and internet-enabled devices and applications,
- an IoT gateway bridging devices and broker, and
- devices as data producers or consumers such as sensors or actuators.

Any text or binary messages can be transferred through the broker. The gateway can communicate with an application through broker utilizing any protocol such as JSON, XML, and Modbus protocols ("Modbus," n.d.). Both publishers and subscribers trust to the broker. They only communicate through a topic or a queue mechanism, and they have no information (which user published or which users can reach the published data) about each other. Since only the broker knows the publishers and subscribers, anonymity is provided in terms of the users and devices.

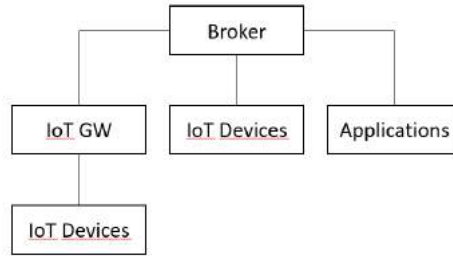


Figure 1. IoT Test Platform

IoT gateways communicate with the broker through TCP over WiFi or Ethernet technologies. Several IoT devices can communicate with the application through an IoT gateway. Advantages of IoT gateway utilization can be listed as below:

- only one user account connects to the broker instead of the several devices' accounts,
- network costs are decreased because of the connection number,
- complex encryption and security approaches can be applied instead of lightweight cryptography,
- IoT devices can save their processing power and memory required for TCP, TLS, and MQTT stacks,
- information fusion can be provided or selected data, such as only changed parameters or some values more than a threshold can be published in terms of all data, and
- all devices can communicate with applications, even not internet capable devices.

The primary focus of this research investigates on cost-effective and secure IoT solutions regarding the storage of pre-shared keys, authentication, session key generation, throughput, and encrypted data transfer with the utilization of the external chip of the Microchip Technology. Both IoT and gateway devices can utilize the proposed approach. We evaluate two embedded devices:

- STM32 Nucleo-144 demo board card includes ARM Cortex-M3 (STM32F207ZGT6) processor (120 MHz), 1 MB Flash, 128KB RAM, and physical I²C and external chip.
- A new industrial IoT gateway includes external chip, ARM Cortex-M0 processor (W7500P) which supports the ARMv6-M Thumb instruction set, Ethernet, Serial communication (RS-232 and RS-485) and I/O interface as represented in Figure 2.

The remainder of this paper is composed of the following sections: background section presents a brief overview of Modbus, MQTT, and AES. Proposed approach section presents a method for encryption and authentication. Analysis and results section includes security analysis and performances of encryption and integrity. Finally, the conclusion section presents a discussion on the results and future works.



Figure 2. New Industrial IoT Gateway

2. Background

2.1. Modbus Protocol

IoT devices can communicate with the IoT gateway and each other through various technologies such as Z-Wave, ZigBee, WiFi, RFID, Bluetooth, RS-485, RS-232, and Ethernet. Some protocols, such as Modbus, can be applied to devices. In this study, IoT gateway

communicates with the devices through the Modbus RTU (binary) protocol (“Modbus,” n.d.), one of the most popular peer-to-peer serial communication protocols utilized in industrial control applications and monitoring processes. This protocol is developed by Modicon for use in PLC (programmable logic computers) communication and defines the message structure (slave address, Modbus application protocol data unit (PDU), and an error checking field) and communication rules. We utilized RS-485 as a physical communication channel. One or more master devices (IoT gateway) send a query to slave devices (sensors and actuators), and the slave devices prepare a response depending on the request. In a standard Modbus network, one master device can communicate with up to 247 slave devices. Modbus concentrate on robust communication, and security was not considered during the development phase of the protocol (Urbina et al., 2017). Therefore, various form of attacks can be applied, such as sniffing, identity spoofing, denial of service, and message modification. There are 20 attacks that are classified as interception, interruption, modification, and fabrication for Modbus serial(Huitsing, Chandia, Papa, & Sheno, 2008). Some of these attacks can cause catastrophic results.

2.2. Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) (ISO / IEC 20922: 2016) protocol is standardized by ISO. MQTT is a message exchange protocol designed for Machine-to-Machine (M2M) communications. It is based on a publish/subscribe mechanism. Since it has low bandwidth and memory consumption and supports for various levels of Quality of Service (QoS), MQTT has been preferred in IoT solutions. MQTT messages are exchanged through a server named broker, as presented in Figure 1. IoT devices are connected to the broker, authenticate themselves through username and password, and register to topics for publishing and subscribing. The device only publishes or subscribes to specific/authorized topics/queues. The broker utilizes and maintains an Access Control List (ACL) to control the topics/queues regarding the users of the system (such as IoT devices). When a message arrives at the broker, the message is replicated to authorized subscribers.

Publisher does not know which subscribers its messages are delivered to, and subscribers do not know which publisher published the message. If an attacker can publish a message in a topic, all subscribers assume that the message is published by an authorized user of the system and process it. Weak passwords, unencrypted transportation, lack of a change mechanism for passwords, and weak RSA key lengths such as 1024 bits can cause such a scenario.

Communication security consists of three components, namely confidentiality, integrity, and availability. Other components of security are authentication, authorization, and access control. By default, MQTT has only the authentication with username and password (Andy et al., 2017). Since by default, MQTT does not provide any data encryption, all data can be sniffed during communication. Therefore, all published data such as the value of sensors and password of an account can be obtained, or data can be manipulated during transportation with applications such as Etterfilter or Ettercap (“Ettercap,” n.d.). When the value of a sensor is changed during transportation, catastrophic results may occur.

MQTT connection can be encrypted between the device and the broker. The message is encrypted and decrypted with a pre-shared session key on both sides. The session key is generated by a key agreement algorithm. In TLS connections, the key agreement is succeeded with asymmetric encryption (such as RSA or Diffie-Hellman), and then symmetric encryption such as The Advanced Encryption Standard (AES) (FIPS 197: Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES), 2001)(Fathy et al., 2012) is applied. For TLS based encryption, either root certificate or the public key of the server certificate, implementation of cryptographic hash (such as MD5, SHA-1 or SHA-256), asymmetric encryption and symmetric encryption algorithms have to be stored in the IoT devices. There are TLS-enabled MQTT implementations such as PAHO (“Eclipse Paho,” n.d.) and Fusesource (“Fusesource MQTT Client,” n.d.). TLS based communication can be utilized where root certificates or public key of server certificate can be maintained, processing power and memory requirements are met (Oliveira, Moreira, de Oliveira Silva, Miani, & Rosa, 2018). There are few and widely used brokers such as Mosquitto(“Mosquitto,” n.d.), ActiveMQ (“ActiveMQ,” 2003) and RabbitMQ(Ionescu, 2015). Depending on the search in Shodan, ~25.000 brokers with the default port (1883) are identified (Andy et al., 2017). It should be noted that these MQTT brokers can also operate with TLS support in a different port. The same devices can connect to both ports with the same username and password. Therefore, an attacker can utilize this to obtain credentials through blocking TLS port. It is shown that some IoT devices already connected to the MQTT broker without any encryption (Andy et al., 2017).

Class-0, defined in RFC 7228 (Bormann, Ersue, & Keränen, 2014) IoT devices have limited resources such as computing performance, small ROM size (less than 100 KB), and small RAM size (less than 10 KB) (Andy et al., 2017)(King & Awad, 2016). This kind of device is utilized for collecting and transmitting data to servers for storing and processing. Since their resources are limited, most of the security approaches, such as TLS for transport security, are not feasible (Andy et al., 2017).

As another approach, MQTT message payload can be encrypted with a pre-shared key before publishing in IoT device. The encrypted payload can then be decrypted in either broker or subscriber(s)(Katsikeas, 2016). In the first approach, a custom-developed broker is needed. The broker should decrypt the payload depending on the user-specific pre-shared key. In the second approach, all subscribers have to know the related key to decrypt the payload. The key can be loaded into all devices during production, or it can be set with the registration of the device to the system. One downside of this approach is that when one of the subscribers is exploited, the entire communication of the publisher can be compromised.

2.3. The Advanced Encryption Standard

The Advanced Encryption Standard (AES) adopted by the U.S. government is utilized widely since November 2001 (FIPS 197: Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES), 2001)(Fathy et al., 2012). AES has 128 bits block size and three key sizes, namely 128, 192 and 256 bits. In AES, some rounds (10, 12, and 14 respectively by key sizes) are defined. FIPS 197 (FIPS 197: Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES), 2001) defines the standards of the algorithm and implementations can be verified with test vectors (Bassham, 2002). The algorithm can be implemented by both hardware and software (Wardhani, Ogi, Syahril, & Septono, 2017). The AES algorithm is implemented considering the performance and resources such as

memory, processing power, and battery. Some embedded devices have a coprocessor that can perform AES encryption in hardware (Schwabe & Stoffelen, 2016). However, it increases power consumption and the cost of the device. ARM cores are used in the embedded industry. One of the AES software implementations is optimized regarding memory for ARM Cortex-M3 processors (Wardhani et al., 2017). In another approach, ARM instruction sets are utilized to increase the speed of AES (Schwabe & Stoffelen, 2016). Also, some countermeasures regarding side-channel attacks are presented in (Schwabe & Stoffelen, 2016).

A lightweight version of the AES is utilized to encrypt MQTT payloads in ESP8266WiFi (Chowdhury, Istiaque, Mahmud, & Miskat, 2018). The ESP8266WiFi has a 32-bit single core RISC processor clocked at 80 or 160 MHz. AES symmetric key and *IV* is shared by the MQTT publisher in ESP8266 and a subscriber during the setup of the system. IoT device manufacturers may prefer to leave physical access for maintaining issues. This access can be exploited by an attacker for tampering with firmware, inserting malicious code, or dumping memory to get user account information (Choi et al., 2018). Therefore, the key and *IV* can be retrieved from the device through console access. MQTT with TLS connection is also implemented on the ESP8266WiFi (Vrettos, Logaras, & Kalligeros, 2018).

We tested one hardware (ATAES132A chip) and two software implementations namely mbedTLS (“MbedTLS,” n.d.) (formerly PolarSSL) and TinyCrypt (“TinyCrypt,” n.d.). All implementations are tested regarding test vectors (Bassham, 2002). TinyCrypt library targets constrained devices and consists of HMAC-PRNG and AES-CTR-PRNG random number generators, AES-128 block cipher (with AES-CBC, AES-CTR, and AES-CMAC encryption modes), AES-CCM authenticated encryptions, ECC-DH key changes, and ECC_DSA digital signatures. Software implementations suffer from the side-channel attacks. Side-channel countermeasures can be implemented but increase overall code size. The TinyCrypt includes certain generic timing-attack countermeasures. The mbedTLS implements symmetric encryption algorithms (Blowfish, Triple-DES (3DES), DES, ARC4, Camellia, XTEA), hash algorithms (MD2, MD4, MD5, SHA-1, SHA-224, SHA-256, SHA-384, SHA-512, RIPEMD-160), RSA / PKCS#1, Diffie-Hellman / PKCS#3, and Elliptic Curve Cryptography (ECC). Although pseudo-random implementations are included in the mbedTLS and TinyCrypt, they need to find an entropy source to produce seed.

2.4. ATAES132A microchip

ATAES132A chip (“ATAES132A,” n.d.) is developed by Microchip Technology and presented in Figure 3. This chip can store sixteen 128-bit keys, encrypt/decrypt through AES algorithm standardized by NIST with 128-bit keys, and generate random octets through Internal High-Quality FIPS Random Number Generator (RNG). It supports 10 MHz SPI (Mode 0 and 3) and 1 MHz standard I²C Interface. It can serve in an industrial environment (−40°C to +85°C). ATAES132A chip supports Electronic Codebook (ECB) and the Counter with Cipher Block Chaining-Message Authentication Code (CCM) (Dworkin, n.d.) (Whiting, Housley, & Ferguson, 2003) algorithms. The CCM is a block cipher mode of operation which is used to provide authenticated encryption. AES-CCM mode in the chip provides both confidentiality and integrity with a single key. There are EEPROM Counters (16 high-endurance), and they can count up to 2097134. Counters have a power interruption protection feature to prevent corruption. Each key can be utilized 2097134 times because of the counter limits in CCM mode. When the counter reaches to limit, the related key is disabled. We listed the algorithms tested in this study and their size of memory requirements in Table 1. We did not apply any optimization on source codes of libraries. Therefore, it can be preferred to use where flash memory is a constraint.



Figure 3. ATAES132A chip

Table 1. Source Code and Flash Memory Requirements

Name	Total Flash (Byte)
MQTT	5247
MbedTLS	14052
TinyCrypt	1092
ATAES132A	599
CRC32	1064
CRC64	2099
MD5	2508

2. Material and Method

We propose an approach based on the external (ATAES132A) chip to utilize for authentication and encryption of MQTT payload. As mentioned in previous sections, constrained devices such as (Class-0) can prefer to utilize gateways for publishing their produced data such as sensor values and getting commands from a control application or an administrator. In this study, we concentrate on the communication security between the broker and IoT things such as the IoT gateway, devices, and applications. The processor module

in the IoT gateway is responsible for communicating with external chip and connected device (sensors and actuators), task allocation and scheduling, data integration and transmission through the MQTT.

Since the proposed approach requires an adapted broker, we modified the ActiveMQ broker for our implementations. The broker is responsible for the authentication of devices, a key agreement for session keys, encrypt/decrypt messages, and ensure message integrity. Each gateway (device) has sixteen pre-shared AES symmetric key(s) in the external chip. One of the keys named K_1 is utilized during authentication, as presented in Figure 4. K_1 and K_2 are associated with `keyId_1` and `keyId_2`, respectively, in the database of the broker. When the device sets up a TCP connection to the broker, the external chip generates a random 12-octet nonce and a 16-octet Initialization Vector (IV). The nonce is extended with a four-octet counter that includes the number of usage of K_1 . Also, an encrypted value (named C_a) is calculated through the encryption of nonce with K_1 . The device starts the authentication process by sending the username and password as "nonce:counter:IV:keyId_1:keyId_2: C_a ". The broker authenticates the device with C_a generated by `keyid_1` and nonce, as presented in Figure 4. When C_a is verified, both sides have a session key (SK) generated through encryption of the nonce with K_2 . When authentication is succeeded, the broker sets a new value of the counter in the database.

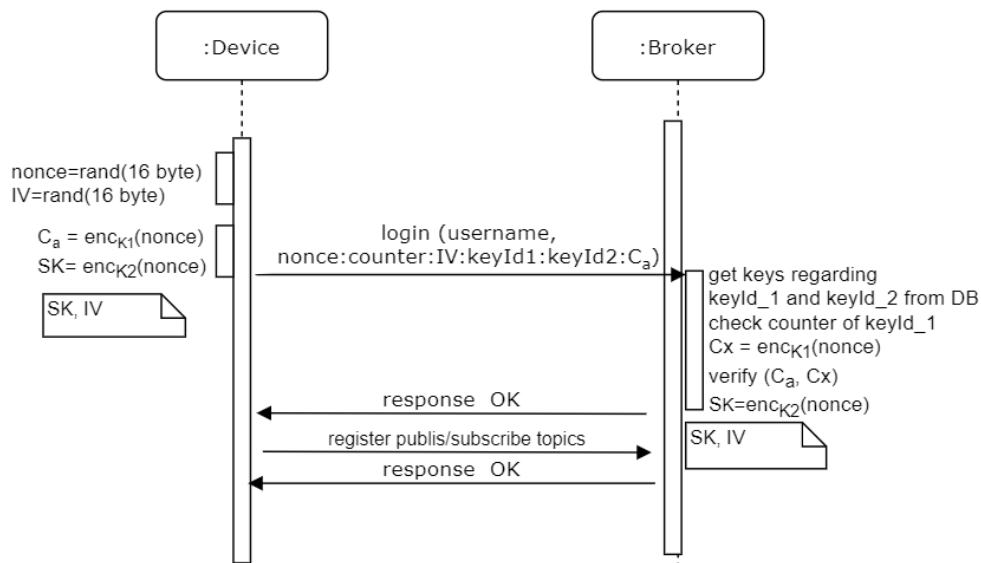


Figure 4. Authentication process

The SK and IV are used to encrypt and decrypt all MQTT payloads during a session as depicted in Figure 5. The client encrypts payload before publishing to the broker, and the payload is decrypted in the broker. After that, using each subscriber's SK and IV , the broker encrypts the payload and sends it to respective subscribers. As represented in Figure 6, N blocks (128 bits) and their digest are encrypted through block cipher, session IV , and session key. Padding can be applied on the plain text to provide 128-bit blocks. When, 128 bits cipher blocks (C_1, C_2, \dots, C_N , and C_{N+1}) are generated, they are sent to receivers as an MQTT payload.

So far, we concentrate on secrecy and confidentiality issues. Another important part of security is integrity. Cryptographic hash functions are utilized to obtain digest (fingerprint) of the payload. If digest obtained by the receiver without change/modified, it can be used to verify the integrity of the payload. Therefore, it should be transferred via a secure channel. Digest calculator can provide a tag value of the payload. The last block includes the tag value and can be encrypted with another key. In this study, we utilize the same key because of the performance issues. The digest can be generated through a cryptographic hash (such as MD5, SHA-1, and SHA-2) or cyclic redundancy check (CRC) algorithms. MD5 generates directly 128 bits of data. CRC algorithm generates 32 and 64 bits data for CRC32 and CRC64, respectively. The tag value can be extended to 128 bits with zeros or random octets before XOR operation. Therefore, any change/modification on the encrypted payload can be identified. Some well-known approaches, such as HMAC can be applied. Our approach is designed based on parameters such as cost, performance, and hardware issues. Such as some processors have included CRC and cryptographic hash algorithms. The proposed approach can be modified based on the parameters.

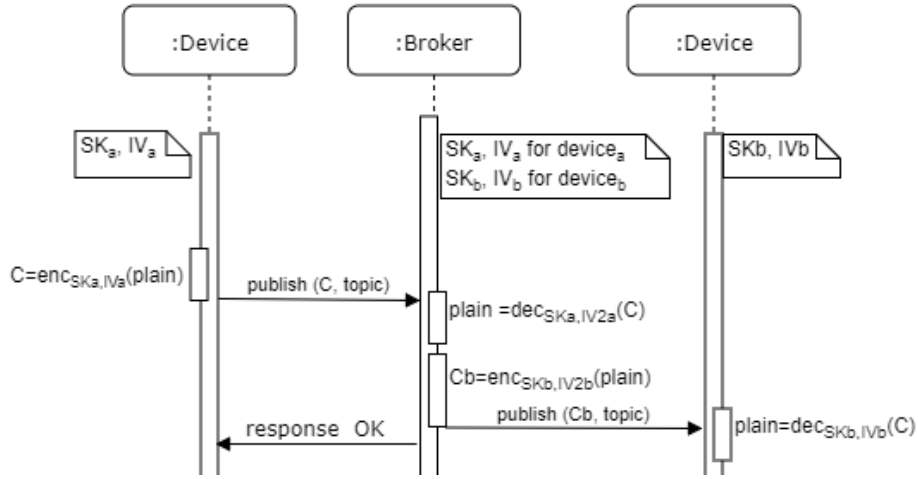


Figure 5. Encrypted communication through custom Broker

The recipient decrypts the payload with its' symmetric session key and *IV* as depicted in Figure 7. When an encrypted MQTT message which includes blocks (C_1, C_2, \dots, C_N , and C_{N+1}) are received, each block is decrypted by *SK* and *IV*. When all blocks are decrypted, the digest value is recomputed in the recipient side and verified with the last block that consists digest value calculated by sender.

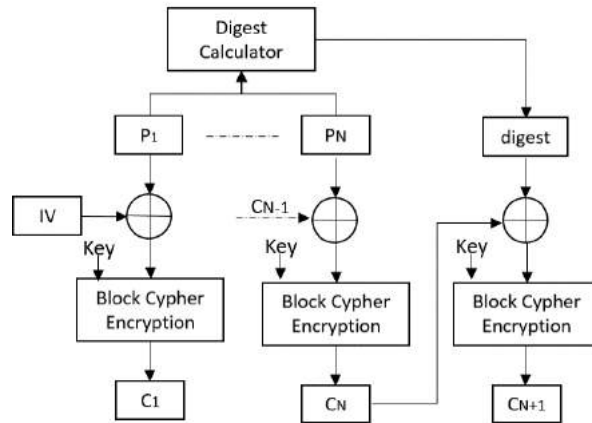


Figure 6. Encryption process

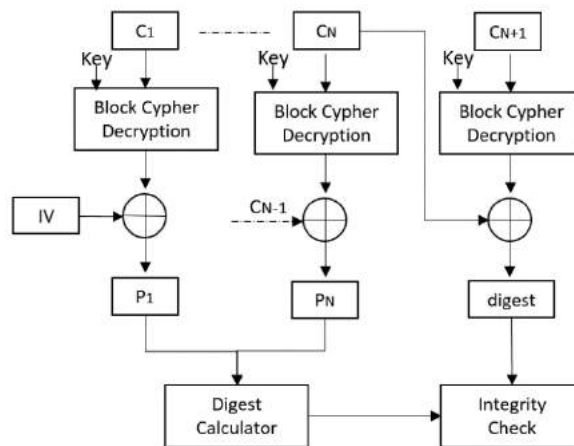


Figure 7. Decryption process

An application can be communicated with the IoT gateway through custom or well-known protocols such as Modbus over MQTT. Therefore, non-internet-enabled physical devices can be monitored and controlled remotely. In our case, the IoT gateway has no capability to control the system. The application in the IoT platform has to know all devices connected to the IoT gateway with their "slaveId"s or "deviceId"s and register address. The application sends a Modbus request that includes *deviceId*, Modbus address, and size values. This message is delivered to the IoT gateway by the broker, as represented in Figure 8. When the message is received, the IoT gateway saves it to a request buffer. When the gateway is available to process, gets the request from the request buffer and sends

to Modbus network. Whenever the requested device gets the message, it prepares a response a Modbus packet and sends to the gateway. When this response arrives, it is also stored in a buffer. Whenever the gateway is available to publish, gets the response from the buffer, sends it to the application through the broker. As is represented in Figure 8, several Modbus requests can be sent one after another by the application and the IoT gateway process them in the received order. All traffic is encrypted with the session key as defined in Figure 6 and Figure 7.

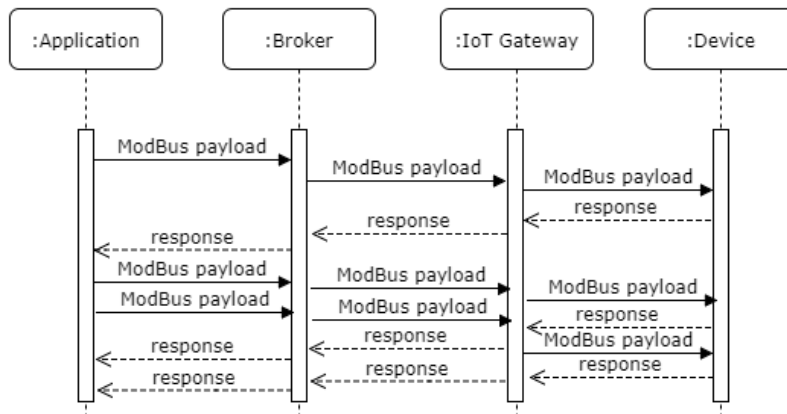


Figure 8. The communication flow between application and device with Modbus over MQTT

3. Results and Discussion

3.1. Security Assessment

IoT security is investigated regarding authentication and encrypted data transfer (Andy et al., 2017)(Chowdhury et al., 2018)(Naik & Maral, 2018). An attacker can sniff the ciphertext and initial parameters such as nonce but must not be able to recover the message. Also, the attacker should not be able to construct a valid ciphertext, a tag, and a nonce.

Username or device identity can be evaluated as a secret as defined in (Naik & Maral, 2018). They can be encrypted during communication. However, a symmetric key for encrypting username should be the same on all devices. When any device is investigated, the key can be compromised. Therefore, username or device ID can be sniffed and decrypted with the key. In this paper, since we query keys depending on device/username in the broker, we are sending username as unencrypted.

Username and password based authentication approaches cause a maintenance problem such as credentials should be changed periodically (Andy et al., 2017). Passwords can be obtained from the devices. Therefore, each device must have a unique password. In our proposed approach, all devices have unique keys. However, even if their keys are different, some replay attacks can be employed. One way is the utilization of the challenge-response mechanism for preventing the replay attacks. However, MQTT has no capability for the challenge-response mechanism. Therefore, we propose a method corresponding with the standard MQTT. The challenge-response mechanism can be applied, but protocol implementations should be modified in both server (broker) and client sides.

MQTT broker listens on port 1883 by default. Any TCP socket application can open a connection to the broker. Therefore, DDOS attacks can be possible for the broker. Brokers can be configured with IP restrictions, and also firewall utilization can be evaluated.

In the proposed approach, the session key is generated through the AES algorithm and random nonce bytes. AES can be utilized as a block cipher-based pseudorandom number generator (PRNG) (Petit, Standaert, Pereira, Malkin, & Yung, 2007). As mentioned before, the seed of the PRNG should be random. Therefore, we utilize a true random generator of the external chip. Some processors also have random generators such as ARM Cortex-M3.

We have implemented an adapted broker for authentication and encrypted data transfer. It should be noted that MQTT or other protocols are not modified. When an attacker sniffs the wire, only username/device Id and a password value consisting of “nonce:counter:IV:keyId_1:keyId_2: C_a ” can be obtained. As defined in the proposed approach section, the random nonce value with the counter is encrypted with a pre-shared key associated with $keyId_1$. Broker verifies the encrypted value (C_a) with the utilization of user related key in a user account database. Since nonce and encrypted value is known, the known-plaintext attack can be applied. In that case, only one session related data can be obtained because each session has unique keys.

In order to prevent replay attacks, timestamp, or a counter addition to nonce can be evaluated. In real life, the maintenance of these values can be a problem. For example, counters or the clock of the device can be reinitialized. In that case, synchronization between peers can be broken. Fortunately, a reliable counter mechanism can be utilized with ATAES132A chip. The chip provides high-endurance counters associated with each key. The counters are incremented with each usage (encryption, decryption, etc.) of that particular key. The counter value can then be included in password value. This way, the broker can keep track of previous payloads and reject any payload that has been processed before. The proposed approach is secure in terms of the replay attacks. An attacker can start a replay attack in three ways:

- All packets during a session include authentication and data packets sniffed. Since nonce value includes the old value of the counter, authorization is going to be failed.
- An attacker can start an active attack through stole authentication packets. In that case, it can be authorized and gain the privilege of the user. We assume that keyId_2 related symmetric key is not known by an attacker. Therefore, an attacker cannot encrypt or decrypt messages. When a message is sent by the attacker, the broker will evaluate that message is modified or broken as represented in Figure 7. In that case, the message can be discarded, or an alarm can be generated for administrators.
- During a session, any sniffed packet can be sent to the broker. Since each message and its MAC value encrypted through CBC mode, any change or replay of previous packet cause integrity error as represented in Figure 7.

We should not use the same key and IV for connection. For each connection, two keys are utilized, and their counters are incremented in ATAES312A chip. When a key usage counter reaches a limit, we should use a different key. An attacker can use this method for his advantages. An attacker can prevent connection request of the device to the broker or behave as a broker and return a false error message to the device for providing the device’s reconnection. As long as the device continues to try, keys are utilized. As a result, there will be no key to use for connection to the broker. Therefore, the device cannot connect to the broker anymore. As a precaution, if it is possible device waits a limited time and try again. Therefore, all keys are not consumed in a short time.

Software-based AES implementations suffer from the timing attacks, power analysis attacks, and other forms of side-channel attacks (Schwabe & Stoffelen, 2016). The external chip has protections for these kinds of attacks (“ATAES132A,” n.d.). If the throughput requirement of the gateway is close to the external chip, the chip can be utilized to encrypt the payload instead of the software implementations. In that case, the CBC mode can be considered.

The tag length can be more than 32 bits, but less than 64 bits is not proposed (Dworkin, n.d.). Since we also encrypt the tag value and payloads are generally smaller than 1024 bytes, 32 byte CRC can be preferred where the processor includes hardware CRC calculator. As represented in the performance section, software implementations of the CRC 64 bits and MD5 have close throughputs.

3.2. Performance of the Encryption Process

For demonstration purpose, we tested two software implementations, namely mbedTLS (“MbedTLS,” n.d.) and TinyCrypt (“TinyCrypt,” n.d.) in the embedded devices. The embedded device includes ARM Cortex-M0 performs 6272, 28912, and 272742 microseconds for encrypting 1024 bytes through mbedTLS, TinyCrypt, and ATAES132A, respectively as depicted in Figure 9. Based on these values and MQTT publish cost, the throughput of the device is represented in Figure 10. The embedded device includes ARM Cortex-M3 performs 2543, 18670, and 204800 microseconds for encrypting 1024 bytes through mbedTLS, TinyCrypt, and ATAES132A, respectively as depicted in Figure 11. As represented in Figure 9 and Figure 10, ARM Cortex-M3 has about two times better performance than ARM Cortex-M0. It should be noted that M0’s (W7500P) price is about 3.49\$ and M3’s (STM32F207VGT6) price is 13,89\$ on a website (“Digikey,” n.d.).

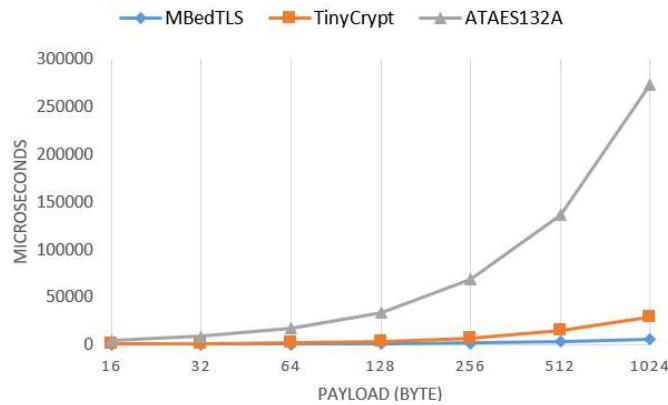


Figure 9. AES 128-Bit encryption with ARM Cortex-M0

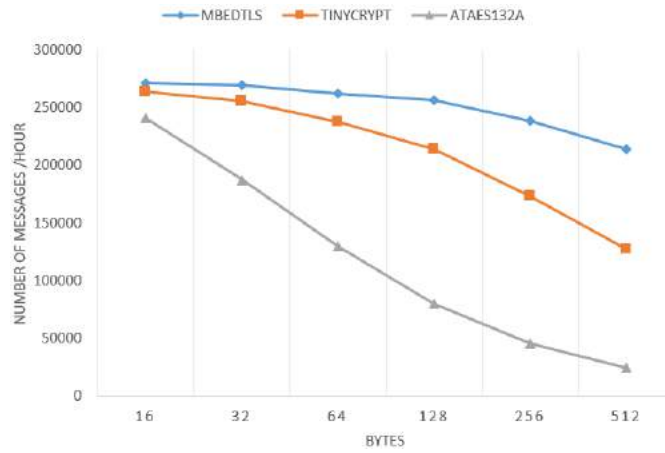


Figure 10. The throughput of encryption approaches for ARM Cortex-M0.

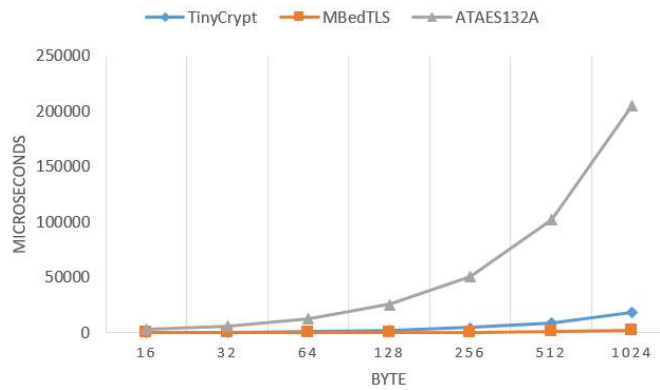


Figure 11. AES 128-Bit in ARM Cortex-M3

Software encryption libraries (mbedTLS and TinyCrypt) consume computation time. Therefore, it is not possible to achieve encryption and to publish simultaneously such as in ARM Cortex-M0. However, since the demo board card includes ARM Cortex-M3 with physical I²C; MQTT communication and AES encryption can be accomplished simultaneously as represented in Figure 12. We used a Tektronix MSO 2014 digital oscilloscope to measure the performance of implementations. While MQTT payload is sending, the external chip can encrypt several new raw data. Encryption operation takes about 3200 microseconds. The external chip can be utilized where MQTT operations take more than 3200 microseconds, effectively. In that case, encryption cost downs to zero. Throughput is affected by block size and network latency. Since, ARM Cortex-M3 enabled gateway can encrypt and publish simultaneously, its throughput high where the network latency is more than 3200 microseconds and block size is small as depicted in Figure 13. Therefore, the external chip-based solution can be selected where the processor has physical I²C, and communication latency is high, or requirement for encryption throughput is low.

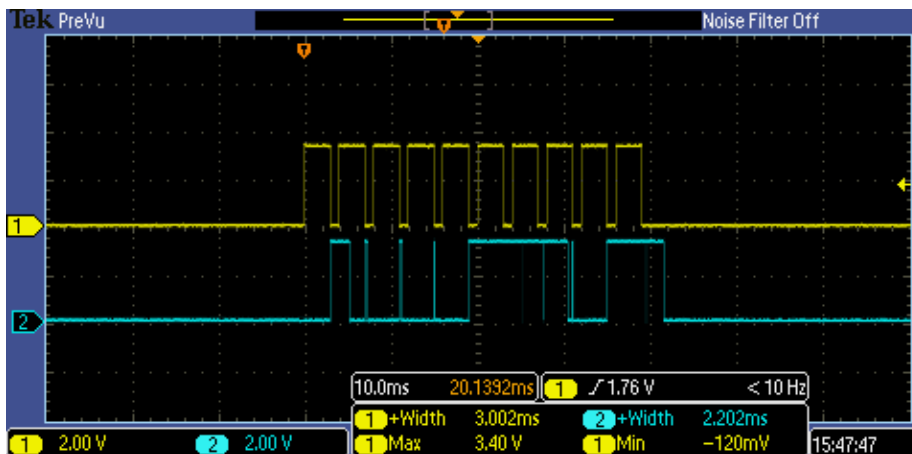


Figure 12. Encryption (channel 1) and MQTT (channel 2)

In the test environment, we evaluated a remote broker. The gateway sends 1024 octet (64 blocks) encrypted payload to a broker in between 3425 and 8104 microseconds for both embedded devices. In our performance evaluation, publish time is assumed as 6400

microseconds. It should be noted that MQTT throughput effected by processor speed, the network latency, and performance of the Broker.

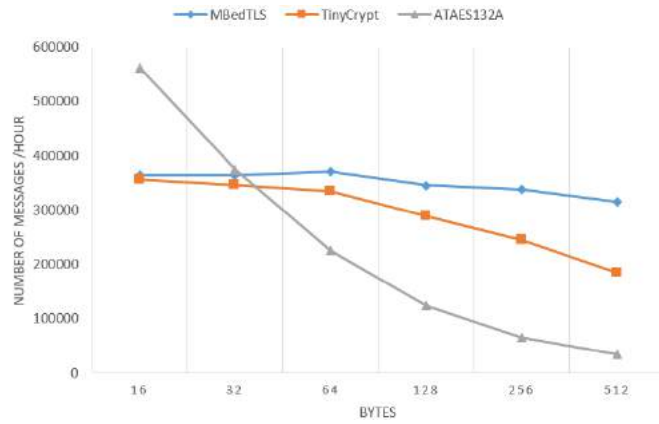


Figure13. The throughput of encryption approaches for ARM Cortex-M3.

3.3. Performance of Message Integrity

The proposed approach can detect the attack after the whole message is decrypted. MD5 is more secure to attacks than CRC 32 and 64 bits. We measure that 256 octet data's tag value is calculated in 648, 1228, and 1787 microseconds through CRC32 (software), CRC64 (software), and MD5 (software), for ARM Cortex-M0, respectively as represented in Figure 12. The MD5 algorithm can be selected instead of CRC64 in the advantage of security and performance for large message size. Memory consumption for two algorithms is almost the same.

Some processors such as ARM Cortex-M3 has internal CRC32. In that case, CRC32 can be utilized to take advantage of performance and code size. Depending on our test are represented in Figure 14, 256 octet data's tag value is calculated in 15, 74, 126, and 137 microseconds through CRC32 (hardware), CRC32 (software), CRC64, and MD5 (software) for ARM Cortex-M3, respectively as depicted in Figure 13. CRC32 hardware implementation can be selected where throughput is essential. The MD5 algorithm can also be selected in ARM Cortex-M3 instead of CRC64 in the advantage of security and performance for large message size. Some models of the ARM such as STM32F217VG have also AES, MD5, and SHA-1 internal accelerators. Algorithms and implementations should be defined depending on the processor and desired throughput.

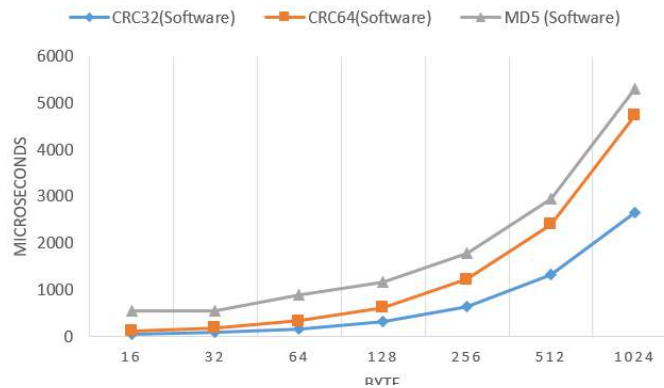


Figure 12. Performance of message authentication algorithms in ARM Cortex-M0

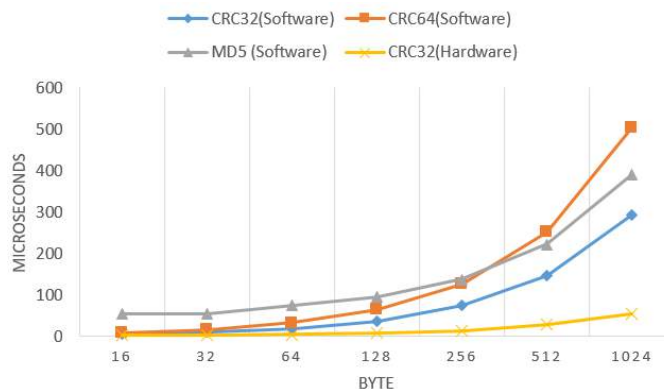


Figure 13. Performance of message authentication algorithms in ARM Cortex-M3

4. Conclusions and Recommendations

This paper is aimed to develop a cost-effective IoT gateway. The gateway sends collected sensor data from various devices with Modbus protocol to a server application for processing through an adapted broker. MQTT is a standardized communication protocol over TCP for IoT devices. By default, data is transported unencrypted. However, TLS based communication can be set up by asymmetric key exchange mechanisms. Both the RSA operation library and RSA public keys should be stored in an embedded device's non-volatile memory. Therefore, the TLS based key exchange is not suitable for constrained devices such as Class-0. In this study, we utilized the pre-shared keys stored in an external (ATAES132A) chip. The keys used for both authentication and encryption and integrity of MQTT message payload between senders such as IoT Gateway and receiver such as the broker.

Through the proposed approach, cost-effective, secure IoT gateways/devices can be developed. The proposed approach offers the utilization of the external chip for two cases 1) authentication and key exchange, 2) authentication and payload encryption. The first method can be preferred where the processor has not physical I²C. Through the proposed approach, keys are securely stored in the external chip. The session key is generated from a true-random seed. Software implementations such as mbedTLS or hardware cryptographic accelerators such as CRC, MD5, and AES are utilized, and payload integrity is satisfied. Shared keys are stored in the chip's secure area. Therefore, keys cannot be obtained through memory dump or side channel attacks. Chip has a true-random generator, which is one of the requirements for secure communication and FIPS based AES implementation.

In the second method, simultaneous encryption and publish can be succeeded in the utilization of physical I²C. The only difference from method 1 is external chip can be utilized for encryption and decryption of the payloads, especially processor's hardware cryptographic accelerators are limited, such as ARM Cortex-M3 (STM32F207VGT6). AES encryption algorithm is not located in flash memory or RAM of the device. Therefore, more memory is reserved for the application. Since encryption operations are performed in the chip, more process power is saved for the applications in the IoT gateway. The chip is secure against the side channel attacks. Most of the AES algorithm software implementations suffer from the side channel attacks.

Modbus data can include 245 bytes maximum. Therefore, encryption with mbedTLS can be selected for software implementation in both embedded devices. However, when small queries are sent to the gateway or gateway sends sensor values periodically, the external chip can be evaluated efficiently with physical I²C of ARM Cortex-M3.

As future work, we will evaluate other software implementations and SPI connection interfaces of ATAES132A for more efficient communication between the processor and the chip. ARM Cortex-M3 (STM32F217VGT6) that include cryptographic accelerators such as AES, MD5, SHA-1 can be utilized.

4. Acknowledge

The author thanks TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) for its support to this study under TUBITAK 1505 University-Industry Collaboration Grant Program project number 5170033 and EMKO Electronic A.Ş located in Bursa, Turkey.

References

- ActiveMQ. (2003). Retrieved May 12, 2017, from <http://activemq.apache.org/>
- Andy, S., Rahardjo, B., & Hanindhito, B. (2017). Attack scenarios and security analysis of MQTT communication protocol in IoT system. In *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)* (pp. 1–6). <http://doi.org/10.1109/EECSI.2017.8239179>
- ATAES132A. (n.d.). Retrieved from <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATAES132A-Data-Sheet-40002023A.pdf>
- Banks, A., & Gupta, R. (n.d.). MQTT Version 3.1.1. Retrieved from <https://www.oasis-open.org/news/announcements/mqtt-version-3-1-1-becomes-an-oasis-standard>
- Bassham, L. E. (2002). The Advanced Encryption Standard Algorithm Validation Suite (AESAVS). Retrieved from <http://src.nist.gov/groups/STM/cavp/documents/aes/AESAVS.pdf>
- Bormann, C., Ersue, M., & Keränen, A. (2014, May). Terminology for Constrained-Node Networks. RFC Editor. <http://doi.org/10.17487/RFC7228>
- Choi, S. K., Yang, C. H., & Kwak, J. (2018). System hardening and security monitoring for IoT devices to mitigate IoT security vulnerabilities and threats. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 12(2), 906–918. <http://doi.org/10.3837/tiis.2018.02.022>
- Chowdhury, F. S., Istiaque, A., Mahmud, A., & Miskat, M. (2018). An implementation of a lightweight end-to-end secured communication system for patient monitoring system. In *2018 Emerging Trends in Electronic Devices and Computational Techniques (EDCT)* (pp. 1–5). <http://doi.org/10.1109/EDCT.2018.8405076>
- Digikey. (n.d.). Retrieved December 20, 2018, from <https://www.digikey.com>
- Dworkin, M. (n.d.). NIST Special Publication 800-38C: Recommendation for Block Cipher Modes of Operation: The CCM Mode for Authentication and Confidentiality. Retrieved from <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-38c.pdf>
- Eclipse Paho. (n.d.). Retrieved from <https://www.eclipse.org/paho/>
- Ettercap. (n.d.). Retrieved December 20, 2018, from <https://www.ettercap-project.org/>
- Fathy, A., Tarrad, I. F. I. F., Hamed, H. F. A. H. F. A., & Awad, A. I. A. I. (2012). Advanced Encryption Standard Algorithm: Issues and Implementation Aspects. In *Communications in Computer and Information Science*. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-35326-0>

- FIPS 197: *Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES)*. (2001). Retrieved from <http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf>
- Fusesource MQTT Client. (n.d.). Retrieved from <https://github.com/fusesource/mqtt-client>
- Huitsing, P., Chandia, R., Papa, M., & Sheno, S. (2008). Attack taxonomies for the Modbus protocols. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 1, 37–44. <http://doi.org/10.1016/J.IJCIP.2008.08.003>
- Ionescu, V. M. (2015). The analysis of the performance of RabbitMQ and ActiveMQ. In *2015 14th RoEduNet International Conference - Networking in Education and Research, RoEduNet NER 2015 - Proceedings* (pp. 132–137). Craiova Romania. <http://doi.org/10.1109/RoEduNet.2015.7311982>
- ISO/IEC 19464:2014: *Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) 1.0*. (2014). Retrieved from http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=64955
- Katsikeas, S. (2016). *A lightweight and secure MQTT implementation for Wireless Sensor Nodes*. Technical University of Crete. Technical University of Crete.
- King, J., & Awad, A. I. (2016). A distributed security mechanism for Resource-Constrained IoT Devices A Distributed Security Mechanism for Resource-Constrained IoT Devices, *40*(June), 133–143.
- MbedTLS. (n.d.). Retrieved from <https://tls.mbed.org>
- Modbus. (n.d.). Retrieved November 21, 2018, from <http://www.modbus.org>
- Mosquitto. (n.d.). Retrieved December 19, 2018, from <https://mosquitto.org/>
- Naik, S., & Maral, V. (2018). Cyber security - IoT. *RTEICT 2017 - 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, Proceedings, 2018-Janua, 764–767*. <http://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256700>
- Oliveira, C. T., Moreira, R., de Oliveira Silva, F., Miani, R. S., & Rosa, P. F. (2018). Improving Security on IoT Applications Based on the FIWARE Platform. In *2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)* (pp. 686–693). <http://doi.org/10.1109/AINA.2018.00104>
- OWASP IoT Vulnerabilities. (n.d.). Retrieved from https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Internet_of_Things_Project#tab=IoT_Vulnerabilities
- Petit, C., Standaert, F.-X., Pereira, O., Malkin, T., & Yung, M. (2007). A Block Cipher based PRNG Secure Against Side-Channel Key Recovery. In *AsiaCCS* (pp. 1–22). Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.74.4352%5Cnhttps://eprint.iacr.org/2007/356.pdf>
- Schwabe, P., & Stoffelen, K. (2016). All the AES You Need on Cortex-M3 and M4. *IACR Cryptology EPrint Archive, 2016*, 714.
- TinyCrypt. (n.d.). Retrieved from <https://01.org/tinycrypt>
- Urbina, M., Astarloa, A., Lázaro, J., Bidarte, U., Villalta, I., & Rodriguez, M. (2017). Cyber-Physical Production System Gateway Based on a Programmable SoC Platform. *IEEE Access*, 5, 20408–20417. <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2757048>
- Vrettos, G., Logaras, E., & Kalligeros, E. (2018). Towards Standardization of MQTT-Alert-based Sensor Networks: Protocol Structures Formalization and Low-End Node Security. In *2018 IEEE 13th International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES)* (pp. 1–4). <http://doi.org/10.1109/SIES.2018.8442109>
- Wardhani, R. W., Ogi, D., Syahril, M., & Septono, P. D. (2017). Fast implementation of AES on Cortex-M3 for security information devices. In *2017 15th International Conference on Quality in Research (QiR) : International Symposium on Electrical and Computer Engineering* (pp. 241–244). <http://doi.org/10.1109/QIR.2017.8168489>
- Whiting, D., Housley, R., & Ferguson, N. (2003). Counter with CBC-MAC (CCM). United States: RFC Editor.



Exact Solutions of Rosenzweig-MacArthur (RM) Model Equations by Using Exp Function Method

Zafer Öztürk¹, Halis Bilgil²

¹ Aksaray University, Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Mathematics, Aksaray, 68100, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1947-9053)

² Aksaray University, Department of Mathematics, Aksaray, 68100, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8329-5806)

(First received 18 March 2019 and in final form 18 June 2019)

(DOI:10.31590/ejosat.541346)

REFERENCE: Ozturk, Z. & Bilgil, H. (2019). Exact Solutions of Rosenzweig-MacArthur (RM) Model Equations by Using Exp Function Method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 427-433.

Abstract

He's exp function method aims to finding exact solutions of nonlinear evolution equations in mathematical physics. The exact solutions of the Rosenzweig-MacArthur (RM) model equations is obtain by using the exp-function method. The method is by transformation used to construct solitary and soliton solutions of nonlinear evolution equations. The free parameters in the obtained generalized solutions might imply some meaningful results in physical process.

Keywords: Rosenzweig-MacArthur (RM) Model, Exact solution, Exp-Function Method, Populations

1. Introduction

The Rosenzweig-MacArthur foodchain model (RM model) is widely used in population dynamics to modelize the predator-prey relationship. The Rosenzweig-MacArthur model can be written in following dimensionless system of two differential equations,

$$\frac{dx_1}{dt} = x_1 \left(1 - x_1 - \frac{z_1 x_2}{1 + b_1 x_1} \right)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = x_2 \left(\frac{z_2 x_1}{1 + b_1 x_1} - z_3 \right)$$

where z_1 , z_2 , z_3 and b_1 are constants. The exact solutions of the nonlinear evolution equations plays an important role in the study of nonlinear physical phenomena. In addition, the exact solutions of those has been used extensively as a benchmark model for testing various numerical solution methods. The nonlinear systems of equation emerge in various fields of scientific and engineering, such as solid physics, optical fibers, biology, chemical physics and fluid mechanics. Nonlinear wave phenomena of dispersion, dissipation, diffusion, reaction and convection are very important in nonlinear wave equations [1]. In the last two decades, a vast variety of simple and direct methods to find analytic solutions of nonlinear differential equations (and systems) and evolution equations have

been developed such as the tanh–sech method [2], extended tanh method [3], sine–cosine method [4], homogeneous balance method [5], F-expansion method [6], homotopy perturbation method [7], Exp-function method [8].

The main aim of this paper is to apply the Exp-function function method with the help of symbolic computation to obtain exact soliton solutions of RM model. By using Exp-function method, many kinds of nonlinear partial differential equations have been solved successfully.

2. The Exp-Function Method

The Exp-function method was first proposed by He and Wu [8] and was successfully used in the solution of many types of nonlinear partial differential equations.

We consider a general nonlinear PDE in the form

$$P(x, y, u, u_x, u_y, u_{xx}, u_{xy}, u_{yy}, \dots) = 0 \tag{2.1}$$

Let us introduce a complex variable ξ , as follows

$$\xi = kx + wt$$

where k and w are constants, we can rewrite Eq. (2.1) in the following nonlinear ODE:

$$Q(u, u', u'', u''', \dots) = 0$$

where the prime denotes the derivation with respect to ξ . According to Exp-function method, we assume that the solution can be expressed in the form [8]

$$u(\xi) = \frac{\sum_{n=-c}^d a_n e^{(n\xi)}}{\sum_{m=-p}^q b_m e^{(m\xi)}} \tag{2.2}$$

where c, d, p and q are positive integer which could be freely chosen, a_n and b_m are unknown constants to be determined. For simplicity, we set $d = q = c = p = 1$ then Eq. (2.2) can be written as,

$$u(\xi) = \frac{a_{-1}e^{-\xi} + a_0 + a_1e^{\xi}}{b_{-1}e^{-\xi} + b_0 + e^{\xi}} \tag{2.3}$$

3. Exact Solution of Rosenzweig-MacArthur (RM) Model

The dimensionless RM equations are given as following,

$$\frac{dx_1}{dt} = x_1 \left(1 - x_1 - \frac{z_1 x_2}{1 + b_1 x_1} \right) \tag{3.1}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = x_2 \left(\frac{z_2 x_1}{1 + b_1 x_1} - z_3 \right) \tag{3.2}$$

In view of the exp function method, we assume that the solution of Eq. (3.1)

$$x_1 = \frac{a_{-1}e^{-x} + a_0 + a_1e^x}{b_{-1}e^{-x} + b_0 + e^x} \tag{3.3}$$

$$x_2 = \frac{h_{-1}e^{-x} + h_0 + h_1e^x}{g_{-1}e^{-x} + g_0 + e^x} \tag{3.4}$$

a_n, b_m, h_n and g_m are unknown constants. By simple calculation, we have

$$(1 + b_1x_1)x_1' - x_1((1 - x_1)(1 + b_1x_1) - z_1x_2) = 0 \tag{3.5}$$

$$(1 + b_1x_1)x_2' - x_2(z_2x_1 - z_3(1 + b_1x_1)) = 0 \tag{3.6}$$

Substituting Eq. (3.3) and (3.4) into Eq. (3.1) and (3.2), and by the help of Maple14, we have

$$\frac{-1}{A} [C_3e^{3x} + C_2e^{2x} + C_1e^x + C_0 + C_{-1}e^{-x} + C_{-2}e^{-2x} + C_{-3}e^{-3x}] = 0 \tag{3.7}$$

$$\frac{-1}{B} [D_3e^{3x} + D_2e^{2x} + D_1e^x + D_0 + D_{-1}e^{-x} + D_{-2}e^{-2x} + D_{-3}e^{-3x}] = 0 \tag{3.8}$$

and for the solutions of Eq. (3.7) and (3.8) all coefficients must be zero.

$$C_3 = c_1a_1h_1 - a_1 - a_1c_2h_1 + a_1^2 + a_1^2c_2h_1$$

$$C_2 = c_1a_0h_1 - a_0c_2h_1 + 2a_0a_1 - a_1c_2h_0 - a_1b_0 + wa_1b_0 + c_1a_1h_1b_0$$

$$-a_1b_0c_2h_1 + a_1^2c_2h_0 + c_1a_1h_0 - a_0 + wa_1b_0c_2h_1 - wa_0 + a_1^2g_0 - a_1g_0$$

$$+2a_0a_1c_2h_1 - wa_0c_2h_1$$

$$C_1 = 2wa_1b_{-1} + 2a_0a_1c_2h_0 - wa_0g_0 + a_1b_{-1}c_2h_1 + a_0^2c_2h_1 + a_1^2g_{-1}$$

$$+a_1b_0g_0 + wa_1b_0c_2h_0 + a_0^2 + c_1a_1h_{-1} + c_1a_1h_0b_0 - a_0c_2h_0 +$$

$$2a_1a_{-1} - a_0b_0c_2h_1 + c_1a_1h_1b_{-1} + wa_1b_0g_0 + c_1a_0h_0 - a_1b_{-1} - a_0g_0$$

$$+2a_1a_{-1}c_2h_1 + 2a_0a_1g_0 - 2wa_{-1} - a_1h_0b_0c_2 - a_{-1} + a_1^2c_2h_{-1} - 2wa_{-1}c_2h_1$$

$$-a_0b_0 - a_{-1}c_2h_1 - a_1c_2h_{-1} + 2wa_1b_{-1}c_2h_1 + c_1a_{-1}h_1 - a_{-1}g_{-1} + c_1a_0h_1b_0 - wa_0c_2h_0$$

$$\begin{aligned}
 C_0 = & -a_{-1}b_0c_2h_1 + 2wa_1b_{-1}g_0 - a_{-1}b_0 + wa_1b_0g_{-1} + wa_0b_{-1} \\
 & -a_1b_0c_2h_{-1} + c_1a_0h_1b_{-1} - a_0b_0g_0 + wa_0b_{-1}c_2h_1 + 2a_0a_1g_{-1} - a_0b_{-1} \\
 & -2wa_{-1}g_0 - wa_{-1}b_0c_2h_1 - a_1b_{-1}g_0 + c_1a_0h_0b_0 - a_{-1}g_0 + 2a_{-1}a_0c_2h_1 \\
 & + a_0^2c_2h_0 + 2a_{-1}a_1c_2h_0 - a_0c_2h_{-1} - 2wa_{-1}c_2h_0 + c_1a_0h_{-1} - a_0h_0b_0c_2 \\
 & -wa_{-1}b_0 + 2a_{-1}a_1g_0 - wa_0g_{-1} + wa_1b_0c_2h_{-1} - a_0g_{-1} + c_1a_{-1}h_0 \\
 & + c_1a_1h_0b_{-1} + c_1a_1h_{-1}b_0 + 2wa_1b_{-1}c_2h_0 + c_1a_{-1}h_1b_0 - a_1b_{-1}c_2h_0 \\
 & + 2a_0a_1c_2h_{-1} - a_1b_0g_{-1} - a_0b_{-1}c_2h_1 + a_0^2g_0 - wa_0c_2h_{-1} - 2a_{-1}a_0 - a_{-1}c_2h_0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{-1} = & -a_{-1}b_0g_0 + 2a_{-1}a_1g_{-1} + c_1a_{-1}h_{-1} + a_0^2c_2h_{-1} + 2a_{-1}a_0g_0 \\
 & -a_1b_{-1}c_2h_{-1} + wa_0b_{-1}c_2h_0 - wa_{-1}b_0c_2h_0 - a_0b_{-1}c_2h_0 - a_{-1}g_{-1} \\
 & + wa_0b_{-1}g_0 - a_0b_0g_{-1} - a_0b_0c_2h_{-1} + 2a_{-1}a_0c_2h_0 - a_{-1}b_{-1}c_2h_1 - a_0b_{-1}g_0 \\
 & -a_{-1}b_0c_2h_0 - a_{-1}c_2h_{-1} + c_1a_0h_0b_{-1} + c_1a_0h_{-1}b_0 - a_{-1}b_{-1} - wa_{-1}b_0g_0 \\
 & + 2wa_1b_{-1}g_{-1} + a_{-1}^2c_2h_1 + a_{-1}^2 + a_0^2g_{-1} + 2wa_1b_{-1}c_2h_{-1} + c_1a_1h_{-1}b_{-1} \\
 & -2wa_{-1}c_2h_{-1} - a_1b_{-1}g_{-1} + 2a_{-1}a_1c_2h_{-1} - 2wa_{-1}g_{-1} + c_1a_{-1}h_1b_{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{-2} = & c_1a_0h_{-1}b_{-1} + wa_0b_{-1}c_2h_{-1} - a_{-1}b_{-1}g_0 - wa_{-1}b_0c_2h_{-1} - wa_{-1}b_0g_{-1} \\
 & + 2a_{-1}a_0c_2h_{-1} + a_{-1}^2g_0 - a_{-1}b_0g_{-1} + c_1a_{-1}h_{-1}b_0 - a_0b_{-1}c_2h_{-1} - a_0b_{-1}g_{-1} + a_{-1}^2c_2h_0 \\
 & -a_{-1}b_0c_2h_{-1} - a_{-1}b_{-1}c_2h_0 + 2a_{-1}a_0g_{-1} + wa_0b_{-1}g_{-1} + c_1a_{-1}h_0b_{-1}
 \end{aligned}$$

$$C_{-3} = a_{-1}^2c_2h_{-1} - a_{-1}b_{-1}c_2h_{-1} - a_{-1}b_{-1}g_{-1} + a_{-1}^2g_{-1} + c_1a_{-1}h_{-1}b_{-1}$$

$$D_3 = -c_2c_3a_1h_1 + d_1h_1 + d_1h_1c_4a_1$$

$$\begin{aligned}
 D_2 = & d_1h_1g_0c_4a_1 + d_1h_1g_0 - c_2c_3a_1h_0 + wh_1g_0c_4a_1 + d_1h_1b_0 - c_2c_3a_1h_1g_0 + d_1h_0 \\
 & -wh_0 + d_1h_0c_4a_1 - wh_0c_4a_1 + d_1h_1c_4a_0 - c_2c_3a_0h_1 + wh_1g_0
 \end{aligned}$$

$$D_1 = -c_2c_3a_0h_0 + d_1h_{-1} + d_1h_0g_0c_4a_1 + d_1h_{-1}c_4a_1 + d_1h_1g_0b_0 - c_2c_3a_1h_0g_0$$

$$\begin{aligned}
 &+d_1h_1g_0c_4a_0 - wh_0b_0 + 2wh_1g_{-1} - c_2c_3a_0h_1g_0 + wh_1g_0b_0 + d_1h_1c_4a_{-1} + wh_1g_0c_4a_0 \\
 &+d_1h_1g_{-1} - c_2c_3a_{-1}h_1 - 2wh_{-1} + d_1h_0c_4a_0 + 2wh_1g_{-1}c_4a_1 + d_1h_0b_0 + d_1h_1g_{-1}c_4a_1 \\
 &-c_2c_3a_1h_{-1} - wh_0c_4a_0 - 2wh_{-1}c_4a_1 + d_1h_1b_{-1} - c_2c_3a_1h_1g_{-1} + d_1h_0g_0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_0 = &-2wh_{-1}c_4a_0 + d_1h_1g_{-1}c_4a_0 + d_1h_{-1}c_4a_0 - c_2c_3a_0h_1g_{-1} + d_1h_1g_0b_{-1} - c_2c_3a_{-1}h_0 \\
 &+d_1h_{-1}g_0 + d_1h_1g_0c_4a_{-1} + d_1h_{-1}b_0 - wh_0c_4a_{-1} - wh_{-1}g_0 - c_2c_3a_0h_{-1} - c_2c_3a_0h_0g_0 \\
 &-c_2c_3a_1h_0g_{-1} + d_1h_0c_4a_{-1} + d_1h_0g_{-1}c_4a_1 + wh_1g_0b_{-1} + d_1h_0g_0b_0 + d_1h_{-1}g_0c_4a_1 \\
 &+d_1h_1g_{-1}b_0 - wh_{-1}g_0c_4a_1 + 2wh_1g_{-1}b_0 + d_1h_0g_{-1} + 2wh_1g_{-1}c_4a_0 + wh_0g_{-1} \\
 &+wh_1g_0c_4a_{-1} + wh_0g_{-1}c_4a_1 - c_2c_3a_1h_{-1}g_0 - c_2c_3a_{-1}h_1g_0 + d_1h_0g_0c_4a_0 + d_1h_0b_{-1} \\
 &-2wh_{-1}b_0 - wh_0b_{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{-1} = &d_1h_{-1}b_{-1} - 2wh_{-1}b_{-1} - c_2c_3a_{-1}h_0g_0 + d_1h_{-1}g_{-1}c_4a_1 + d_1h_{-1}c_4a_{-1} \\
 &-c_2c_3a_1h_{-1}g_{-1} + 2wh_1g_{-1}b_{-1} - c_2c_3a_{-1}h_1g_{-1} - wh_{-1}b_0g_0 - c_2c_3a_{-1}h_{-1} \\
 &+d_1h_0g_0c_4a_{-1} - wh_{-1}g_0c_4a_0 + d_1h_1g_{-1}b_{-1} + d_1h_{-1}g_{-1} - 2wh_{-1}c_4a_{-1} + wh_0g_{-1}c_4a_0 \\
 &+d_1h_0g_{-1}c_4a_0 + wh_0g_{-1}b_0 + d_1h_0g_0b_{-1} + d_1h_1g_{-1}c_4a_{-1} + d_1h_{-1}g_0c_4a_0 - c_2c_3a_0h_{-1}g_0 \\
 &+d_1h_{-1}g_0b_0 + 2wh_1g_{-1}c_4a_{-1} + d_1h_0g_{-1}b_0 - c_2c_3a_0h_0g_{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{-2} = &d_1h_{-1}g_{-1}b_0 + d_1h_{-1}g_{-1}c_4a_0 + d_1h_0g_{-1}b_{-1} + d_1h_{-1}g_0c_4a_{-1} + d_1h_{-1}g_0b_{-1} \\
 &+d_1h_0g_{-1}c_4a_{-1} + wh_0g_{-1}c_4a_{-1} - wh_{-1}g_0b_{-1} - c_2c_3a_{-1}h_0g_{-1} + wh_0g_{-1}b_{-1} \\
 &-wh_{-1}g_0c_4a_{-1} - c_2c_3a_{-1}h_{-1}g_0 - c_2c_3a_0h_{-1}g_{-1}
 \end{aligned}$$

$$D_{-3} = -c_2c_3a_{-1}h_{-1}g_{-1} + d_1h_{-1}g_{-1}b_{-1} + d_1h_{-1}g_{-1}c_4a_{-1}$$

Equating all the coefficients of e^{nx} to zero, we obtain a system of algebraic equations which can be solved by the Maple, to obtain the following cases of solutions

Case 1: $h_{-1} = 0, a_{-1} = 0, z_3 = \frac{b_1a_1 - a_1 - a_1^2b_1 + 1}{h_1}, g_0 = 0, b_{-1} = 0,$

$$z_2 = \frac{z_3(b_1a_1 + 1)}{a_1}, g_{-1} = 0, h_0 = 0, b_0 = 0, a_0 = 0$$

Substituting these results into (3.1) and (3.2), the following exact solution will be derived,

$$x_1 = \frac{e^t}{\left(\frac{g_0^2 b_1 - 2g_{-1} + g_0^2 - 2b_1 g_{-1}}{g_0}\right) + e^t}$$

$$x_2 = \frac{h_1 e^t}{g_{-1} e^{-t} + g_0 + e^t}$$

where b_1, g_{-1} and g_0 are free parameters.

Case 2: $h_{-1} = 0, a_{-1} = 0, z_3 = -1, b_{-1} = 0, b_0 = g_0, z_2 = \frac{-1}{a_1}$

$$z_2 = \frac{z_3(b_1 a_1 + 1)}{a_1}, g_{-1} = 0, h_0 = 0, a_0 = 0, z_1 = \frac{1-a_1}{h_1}, b_1 = 0$$

Substituting these results into (3.1) and (3.2), we obtain the following exact solution,

$$x_1 = \frac{a_1 e^t}{g_0 + e^t}$$

$$x_2 = \frac{h_1 e^t}{g_0 + e^t}$$

where a_1, h_1 and g_0 are free parameters.

Case 3: $g_{-1} = 0, a_{-1} = 0, h_1 = \frac{h_{-1} z_2}{b_0 g_0}, a_0 = 0, z_3 = 1, b_1 = z_2 - 1$

$$b_{-1} = 0, a_1 = 1, h_0 = \frac{h_{-1}(b_0 + z_2 g_0)}{b_0 g_0}, z_1 = 0$$

Substituting these results into (3.1) and (3.2), the following exact solution will be derived,

$$x_1 = \frac{e^t}{b_0 + e^t}$$

$$x_2 = \frac{h_{-1}(b_0 g_0 e^{-t} + b_0 + z_2 g_0 + z_2 e^t)}{b_0 g_0 (g_0 + e^t)}$$

where b_0, h_{-1}, z_2 and g_0 are free parameters.

Case 4: $g_{-1} = 0, a_{-1} = 0, h_0 = \frac{-h_{-1} z_2}{a_0}, b_{-1} = -a_0^2, b_0 = 0, z_3 = 2$

$$a_1 = 1, b_1 = \frac{1}{2} z_2 - 1, g_0 = 0, z_1 = 0, h_1 = \frac{1}{4} \frac{h_{-1} z_2^2}{a_0^2}$$

Substituting these results into (3.1) and (3.2), the following exact solution will be derived,

$$x_1 = \frac{a_0 + e^t}{-a_0^2 e^{-t} + e^t}$$

$$x_2 = \frac{h_{-1}(4a_0^2 e^{-t} - 4a_0 z_2 + z_2^2 e^t)}{a_0^2 e^t}$$

where a_0 , h_{-1} and z_2 are free parameters.

4. Conclusions

In this article, we have been looking for the exact solution of the nonlinear Rosenzweig–MacArthur system. The free parameters can be determined using any relevant to initial or boundary conditions. The obtained results show that the Exp-function method is an effective and powerful mathematical tool for solving nonlinear dynamical systems in mathematical physics.

References

- [1] He, JH., and Wu, XH., 2006. Exp-Function Method for Nonlinear Wave Equations, *Chaos, Soliton and Fractals*, 30, 3, 700-708.
- [2] Zayed, E. M. E. & Abdelaziz, M. A. M., 2010. The tanh- function method using a generalized wave transformation for nonlinear equations. *Int. J. Nonlinear Sci. Numer. Simula.*, 11, 595-601.
- [3] El-Wakil SA, Abdou MA., Mar 2007. Modified extended tanh-function method for solving nonlinear partial differential equations, *Chaos Solitons and Fractals* 31 (5), 1256-1264
- [4] Wazwaz, A. M., 2004. A sine-cosine method for handling nonlinear wave equations. *Math. Comput. Model.*, 40, 499-508.
- [5] Fan, E. & Zhang, H., 1998. A note on the homogeneous balance method. *Phys. Lett., A* 246, 403-406.
- [6]. Zhang, J. L., Wang, M. L., Wang, Y. M. & Fang, Z. D. 2006. The improved F expansion method and its applications. *Phys. Lett., A* 350, 103-109.
- [7] He, J. H. 2006. New interpretation of homotopy perturbation method. *Int. J. Mod. Phys., B* 20, 2561-2568.
- [8] X.H. (Benn) Wu, J.H. He, 2008. Exp-function method and its application to nonlinear equations, *Chaos Solitons Fractals* 38 903–910.
- [9] A. C. Cevikel, 2018, New exact solutions of the space-time fractional Kdv-Burgers and non-linear fractional foam Drainage Equation, *Thermal Science*, 15-24.
- [10] A. Bekir, O. Güner and A. C. Cevikel, 2017, The Exp-Function Method for some time – fractional differential equations, *IEEE-CAA Journal of Automatica Sinica*, 315-321.
- [11] O. Güner , E. Aksoy, A. Bekir and A. C. Cevikel , 2015, Different methods for (3+1) – dimensional space-time fractional modified KdV-Zakharov-Kuznetsov equation, *Computers and Mathematics With Applications*, 1259-1269.
- [12] O. Güner , A. Bekir, and A. C. Cevikel , 2015, A variety of exact solutions for the time fractional Cahn-Allen equation, *European Physical Journal Plus*.
- [13] A. C. Cevikel, A. Bekir, S. San and M.B. Gucen, 2014, Construction of periodic and solitary wave solutions for the complex nonlinear evolution equations *Journal of the Franklin Institute Engineering and Applied Mathematics*, 694-700.
- [14] O. Güner and A. C. Cevikel, 2014, A Procedure to construct exact solutions of nonlinear fractional differential equations, *Scientific World Journal*.
- [15] A. C. Cevikel and A. Bekir, 2013, New Solitons and periodic solutions for (2+1) - dimensional Dawey-Stewartson equations, *Chinese Journal Of Physics*, 1-13.
- [16] A. C. Cevikel, A. Bekir, M. Akar and S. San, 2012, A procedure to construct exact solutions of nonlinear evolution equations, *Pramana-Journal Of Physics*, 337-344.
- [17] A. Bekir and A. C. Cevikel, 2010, New solitons and periodic solutions for nonlinear physical models in mathematical physics, *Nonlinear Analysis Real World Applications*, 3275-3285.



Kayseri Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarının Nohut (Cicer arietinum L.) Bitkisinde Verim, Verim Unsurları ve Kalite Üzerine Etkileri

Mücahid Yusuf İslam Ercan¹, Satı Uzun¹, Hamdi Özaktan^{1*}

¹ Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4476-9992)

¹ Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9919-3145)

¹Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8869-4526)

(İlk Geliş Tarihi 3 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 8 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.548763)

ATIF/REFERENCE: Ercan, M. Y. İ., Uzun, S. & Özaktan, H. (2019). Kayseri Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarının Nohut (Cicer arietinum L.) Bitkisinde Verim, Verim Unsurları ve Kalite Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 434-440.

Öz

Bu çalışma, Kayseri ekolojik koşullarında farklı ekim zamanlarının (10 Nisan, 20 Nisan, 30 Nisan ve 15 Mayıs) nohut (*Cicer arietinum* L.) verim, verim öğeleri ve kalite üzerine etkisini belirlemek amacıyla tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak 2016 yılında yürütülmüştür. Araştırmada, bitki materyali olarak Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından tescil edilen Aksu nohut çeşidi kullanılmıştır. Birinci ekim zamanının ortalama verileri değerlendirildiğinde fizyolojik olum gün süresi 84.75 gün, bitki boyu 47.44 cm, ilk bakla yüksekliği 30.28 cm, anadal sayısı 2.73 adet, bitkide bakla sayısı 18.04 adet, bitkide tane sayısı 19.51 adet ve birim alan tane verimi 302.20 kg/da olarak belirlenmiştir. Ayrıca birinci ekim zamanında nohut kesinde; kes verimi (331.5 kg/da), ADF (% 39.15), NDF (% 52.42), Ca (% 1.55), K (% 1.30), Mg (% 0.168), P (% 0.22), KM (% 91.22) ve protein oranı (% 10.86) tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bölge için nohut ekim zamanı Nisan ayının başı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nohut, Ekim zamanı, Verim, Kalite özellikleri.

Effects of Different Sowing Dates on Yield, Yield Components and Quality Attributes of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Under Ecological Conditions of Kayseri Province

Abstract

This study was conducted to investigate effects of different sowing times (10 April, 20 April, 30 April and 15 May) on yield, yield components and quality attributes of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Experiments were conducted under ecological conditions of Kayseri province in 2016 growing season in randomized blocks design with 4 replications. Aksu chickpea cultivar registered by Eastern Mediterranean Transitional Zone Agricultural Research Institute was used as the plant material of the experiments. Mean physiological maturation days 84.75 day, plant height 47.44 cm, the first pod height 30.28 cm, number of main branches 2.73 number, number of pods per plant 18.04 number, number of seeds per plant 19.51 number and unit area seed yield 302.2 kg/da were obtained from the first sowing date. For the green herbage of the first sowing date, green herbage yield was 331.5 kg/da, ADF ratio was 39.15%, NDF ratio was 52.42%, Ca ratio was 1.55%, K ratio was 1.30%, Mg ratio was 0.168%, P ratio was 0.22%, DM ratio was

¹ Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4476-9992, ozaktan_03@hotmail.com

91.22% and protein ratio was 10.86%. It was concluded based on present findings that the beginning of April was the most appropriate time for chickpea sowing in the region.

Keywords: Chickpea, Sowing time, Yield, Quality attributes.

1. Giriş

Nohut (*Cicer arietinum* L.), dünyada kültürü yapılan ilk yemeklik tane baklagillerden biridir. Tek yıllık bir bitki olmasına karşın kuvvetli ve derin kazık kök yapısına sahiptir (Şehirli 1988; Çiftçi ve Adak, 2009). Çeşit ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak nohut bünyesinde % 12.6-29 arasında protein ve % 10.6-16.6 diyet lifi bulundurmaktadır. Bunun yanında mineral madde ve vitamince zengin olduğundan insan beslenmesinde önemli yere sahiptir (Wood ve Grusak, 2007; Aydoğan ve ark., 2011). Ayrıca nohut, hayvan beslenmesinde enerji ve protein kaynağı olarak da değerlendirilmektedir (Bampidis ve Chritodoulou, 2011; Kaplan ve ark., 2015). FAO 2017 yılı verilerine göre dünyada nohut ekim alanı 14.564.399 ha ve üretim miktarı 14.776.827 ton olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizde ise 2018 yılında 514.416 hektarlık alanda ekilerek 630.000 ton üretim gerçekleştirilmiş, yemeklik tane baklagiller içerisinde ekiliş alanı ve üretim miktarı bakımından birinci sırada yer almıştır (FAO, 2019).

Bitkisel üretimde mevcut imkanlar dahilinde birim alanda verimi arttırmanın yollarından birisi de en uygun çeşit seçimi ve ekim zamanının belirlenmesidir. Nohutta erken ekimle birlikte aşırı şekilde vejetatif büyüme olmakta ve hastalıklar yaygınlaşmaktadır. Buna karşılık geç ekimde de toprak neminin artan sıcaklıklarla düşmesiyle optimum çimlenme ile çıkışın sağlanamaması sonucu verimde düşüşler olmaktadır (Erman ve Tüfenkçi, 2004).

Ceran (2015), nohut bitkisinde ekimin gecikmesi ile bitkideki bakla sayısının, bitki boyunun, ilk bakla yüksekliğinin, 100 tane ağırlığının ve protein oranının azaldığı sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca birçok araştırmacı tarafından ekim zamanının gecikmesi sonucunda fizyolojik olum süresinin kısaldığı (Özgün ve ark., 2005), bitki boyunun kısaldığı (Akdağ, 1995; Erman ve Tüfenkçi, 1998; 1999), ilk bakla yüksekliğinin kısaldığı (Gürbüz, 2017), bitkideki bakla sayısının azaldığı (Topalak ve Ceyhan, 2015; Sarı ve Adak, 1998; Özgün ve ark., 2003), bitkide tane sayısının azaldığı (Özgün ve ark., 2003), birim alan tane verimlerinin azaldığı (Akdağ, 1995; Üstün ve Gülümser, 2003; Erman ve Tüfenkçi, 2004), tanedeki protein oranının arttığı (Topalak ve Ceyhan, 2015) ve kes veriminin azaldığı (Akdağ ve ark., 1995) bildirilmektedir. Bu çalışma, Kayseri ekolojik koşullarında farklı ekim zamanlarının nohut bitkisinde verim ve kalite üzerine etkisini araştırmak amacıyla yürütülmüştür.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma, Erciyes Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne ait deneme arazisinde 2016 yılı üretim sezonunda gerçekleştirilmiştir. Denemede bitki materyali olarak Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından tescil edilen Aksu nohut çeşidi kullanılmıştır. Deneme yeri iklim verileri Çizelge 1'de, deneme alanına ait toprak analiz değerleri de Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme yeri Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında günlük toplam yağış miktarları (mm) (Anonim 2017).

Günler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nisan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1	-	2.2	-	0.8	-	0.2
Mayıs	-	-	1.2	-	1.9	2.9	7.8	3.4	-	-	1.8	-	-	4.3	-	0.2
Haziran	3.0	-	0.1	15.2	-	-	5.2	0.6	2.0	1.0	-	-	-	-	0.1	0.3
Günler	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Nisan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	1.0					
Mayıs	-	1.2	51.2	-	-	-	16.8	8.8	-	11.5	4.3	7.1	4.3	0.1	0.4	
Haziran	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8		
							Nisan			Mayıs			Haziran			
Toplam							10.3			121.8			30.3			
Uzun Yıllar Ortalaması Toplam							54.0			51.8			40.4			

-: Yağış yok

Çizelge 2. Deneme arazisine ait bazı toprak özellikleri*

Özellikler	Tekstür				pH	% Organik Madde	% Kireç	P ₂ O ₅ kg/da	EC mmhos/cm
	% Kil	% Silt	% Kum	Sınıfı					
Analiz Değerleri	9.78	12.48	77.74	Kumlu tınlı	7.69	1.15	1.27	14.23	0.024

*Toprak analizi Erciyes Üniversitesi Seyrani Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Laboratuvarında yapılmıştır.

Denemenin yürütüldüğü döneme ait günlük yağış miktarları incelendiğinde nisan ve haziran aylarında düşen toplam yağış miktarı uzun yıllar ortalamasından düşük olurken mayıs ayında düşen toplam yağış miktarı uzun yıllar ortalamasının 2.35 katı şeklinde gerçekleşmiştir (Çizelge 1).

Çizelge incelendiğinde, deneme alanı topraklarında % 9.78 oranında kil, %12.48 oranında silt, % 77.74 oranında kum mevcut olup kumlu tınlı toprak sınıfına girmiştir. Elverişli fosfor 14.23 kg/da, organik madde % 11.15, kireç % 1.27 olup pH'sı 7.69 bulunmuştur.

2.2.Yöntem

Deneme, 3 m uzunluğundaki parsellere, sıra arası 30 cm ve 6 sıra (parsel alanı 5.4 m²) olacak şekilde, Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Ekimden önce deneme alanına dekara 4 kg saf azot ve 6 kg saf fosfor olacak şekilde DAP gübresi uygulanmıştır. Ekim işlemi 10 Nisan, 20 Nisan, 30 Nisan ve 15 Mayıs 2016 tarihlerinde elle yapılmıştır.

Bitki gelişme devresi boyunca, deneme parsellerini yabancı ot mücadelesi amacıyla bir defa çapa yapılmıştır. Hasat olgunluğuna gelmiş her parselin yanlarından birer sıra ve parsel başlarından 50 cm'lik kısımlar kenar tesiri olarak atılmış, geriye kalan alandan rastgele 10'ar bitki alınmıştır. Bu bitkilerde bitki boyu (cm), ilk bakla yüksekliği (cm), bitkide anadal sayısı (adet), bitkide bakla sayısı (adet), bitkide tane sayısı (adet), baklada tane sayısı (adet), dekara tane verimi (kg/da) ve hasat indeksi (%) belirlenmiştir. Tanelerin nem değerleri sabitlenince yüz tane ağırlığı (g) ve tanede protein oranı (%) Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir (Anonim, 2001). Ayrıca tane hasadından sonra nohut keslerinde asit deterjanda çözünmeyen lif oranı (ADF) (%), nötral deterjanda çözünmeyen lif oranı (NDF) (%), protein oranı (%), Ca (%), K (%), Mg (%), P (%) ve kuru madde (KM, %) içerikleri Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) (Foss 6500) cihazı ile IC-0904FE kalibrasyonu kullanılarak belirlenmiştir.

Elde edilen değerler, JUMP paket programında varyans analize tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey testi ile belirlenmiştir (Düzgüneş ve ark., 1987).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İncelenen özelliklere ait varyans analiz tablosu Çizelge 3'de verilmiştir. Ekim zamanının incelenen özelliklerden fizyolojik olum, bitki boyu, ilk bakla yüksekliği ve birim alan tane verimi üzerine etkisi istatistiksel olarak % 1 seviyesinde önemli bulunurken; anadal sayısı, bitkide bakla sayısı, bitkide tane sayısı, yüz tane ağırlığı, Ca, K ve KM içerikleri üzerine etkileri % 5 seviyesinde önemli bulunmuştur. Ekim zamanı uygulamasının, baklada tane sayısı, hasat indeksi, tanede protein oranı, kes verimi, kesteki protein oranı, ADF, NDF, Mg ve P içerikleri üzerine etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. İncelenen özelliklere ait ortalama değerler ve bu ortalamalar arasındaki Tukey grupları Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. İncelenen özelliklere ait varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması				
		Fizyolojik Olum	Bitki Boyu	İlk Bakla Yüksekliği	Anadal Sayısı	Bitkide Bakla Sayısı
Tekerrür	3	2.063	2.987	11.797	0.009	1.077
Ekim zamanı	3	152.229**	233.851**	258.344**	0.826*	18.442*
Hata	9	0.563	5.783	4.225	0.052	1.705
Genel	15	31.196	50.838	56.563	0.198	4.927
Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Bitkide Tane Sayısı	Baklada Tane Sayısı	Birim Alan Tane Verim	Hasat İndeksi	Yüz Tane Ağırlığı
Tekerrür	3	3.915	0.0089	374.248	46.300	66.069
Ekim zamanı	3	25.251*	0.0017	15256.78**	41.410	81.180*
Hata	9	4.131	0.0038	278.86	15.497	19.230
Genel	15	8.312	0.0044	3293.52	26.840	40.988
Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Tanede Protein Oranı	Kes Verimi	Keste Protein Oranı	ADF	NDF
Tekerrür	3	2.022	1370.75	3.936	9.640	9.734
Ekim zamanı	3	2.298	5184.25	0.892	0.485	2.722
Hata	9	2.924	1346.08	1.507	9.489	15.409
Genel	15	2.618	2118.65	1.870	7.718	11.737
Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Ca	K	Mg	P	KM
Tekerrür	3	0.001	0.027	0.00054	0.00035	0.089
Ekim zamanı	3	0.066*	0.076*	0.00024	0.00037	2.119*
Hata	9	0.007	0.018	0.00076	0.00025	0.131
Genel	15	0.018	0.031	0.00061	0.00029	0.520

*: %5 düzeyinde önemli **: %1 düzeyinde

3.1. Fizyolojik Olum (gün)

Nohutta ekim zamanlarının fizyolojik olum üzerine ait ortalama değerler incelendiğinde en uzun fizyolojik olum gün süresi birinci (84.75 gün) ekim zamanından elde edilirken en kısa fizyolojik olum gün süresi ikinci (71.75 gün) ekim zamanından elde edilmiştir. Üçüncü (72.25 gün) ve dördüncü (73.50 gün) ekim zamanına ait ortalama değerler istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır. Birinci ekim zamanı hariç diğer ekim zamanlarından elde edilen ortalama değerlerin birbirlerine yakın olması ikinci ve üçüncü ekim zamanlarındaki tohumların çıkışı için ihtiyaç duyulan nem miktarının dördüncü ekim zamanından sonra gelen yağışlarla karşılanması sonrası gerçekleşmiş olabilir. Ekim zamanının gecikmesi sonucunda olgunlaşma zamanını kısaltmıştır. Elde edilen bulgular Özgün ve ark. (2005)'in sonuçlarıyla uyumludur.

3.2. Bitki Boyu (cm)

Bitki boyu ortalamaları bakımından ekim zamanı verileri incelendiğinde 47.43 cm ile en uzun bitki boyu birinci ekim zamanından, en kısa bitki boyu ise 30.5 cm ile üçüncü ekim zamanından elde edilmiştir. Birinci ekim zamanı hariç diğer ekim zamanlarından elde edilen bitki boyu ortalamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde nohutta ekim zamanının gecikmesine bağlı olarak bitki boyu kısalmaktadır. Elde edilen sonuçlar Akdağ (1995) ile Erman ve Tüfenkçi (2004)'nin yaptıkları çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca, Yalçın ve ark. (2018)'nin yaptığı çalışmada bitki boyu 38.23 ile 41.93 cm arasında değişmiştir.

3.3. İlk Bakla Yüksekliği (cm)

İlk bakla yüksekliği ortalamaları yönünden ekim zamanı verileri incelendiğinde en yüksek bakla yüksekliği 30.27 cm birinci ekim zamanından, en kısa bakla yüksekliği ise 12.16 cm ile dördüncü ekim zamanından elde edilmiştir. Ekim zamanı geciktikçe ilk bakla yükseklikleri önemli derecede kısalmıştır. Makineli hasat-harmanın yoğun olarak nohut tarımında kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda Kayseri ve benzer ekolojilere sahip bölgelerde ekimin nisan ortasını geçmemesi önem arz etmektedir. Denemede kaydedilen değerler Gürbüz (2017)'nin sonuçları ile paraleldir.

3.4. Anadal Sayısı (adet)

Çizelge 4'de anadal sayıları ortalamaları incelendiğinde, en fazla anadal sayısı birinci (2.73 adet) ekim zamanından elde edilirken en az anadal sayısı ikinci (1.71 adet) ekim zamanından elde edilmiştir. Anadal sayısı bakımından birinci ekim zamanları hariç diğer

ekim zamanları istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. Nohutta ekim zamanının bitkideki anadal sayısını etkilediğini Çiftçi ve Türk (1998), Üstün ve Gülümser (2003) ve Yiğitoğlu ve Anarsal (2012) yaptıkları çalışmalarda da bildirmişlerdir.

3.5. Bitkide Bakla ve Baklada Tane Sayısı (adet)

Yapılan bu çalışmada bitkide bakla sayısı en yüksek 18.04 adet ile birinci ekim zamanından, en düşük ise 13.38 adet ile dördüncü ekim zamanından elde edilmiştir. Ekim zamanı geciktikçe bitkideki bakla sayısı azalmıştır. Ayrıca, baklada tane sayısı 0.93-0.97 adet arasında değişim göstermiştir. Baklada tane sayısına ekim zamanlarının etkisi istatistiki olarak önemsiz olmuştur. Elde edilen sonuçlar Topalak ve Ceyhan (2015), Sarı ve Adak (1998) ve Özgün ve ark. (2003)'ün bildirdikleri sonuçlarla uyumludur.

3.6. Bitkide Tane Sayısı (adet)

Bitkideki tane sayısı bakımından ekim zamanı verileri incelendiğinde en yüksek değer 19.51 adet ile birinci ekim zamanından elde edilmiş, en düşük değer ise 14.17 adet ile dördüncü ekim zamanından elde edilmiştir. Birinci ile ikinci ve üçüncü ve dördüncü ekim zamanlarına ait ortalama değerler istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. Ekim zamanı geciktikçe bitkide tane sayısının azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Özgün ve ark. (2003a)'nın yapmış oldukları çalışmanın sonuçları ile paraleldir.

3.7. Birim Alan Tane Verimi (kg/da)

Tane verimi yönünden ekim zamanı verileri değerlendirildiğinde, en yüksek tane verimi dekara 302.2 kg ile birinci ekim zamanından elde edilmiştir. En düşük tane verimi ise 168.5 kg ile dördüncü ekim zamanından elde edilmiş ve üçüncü ekim zamanı ile istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Ekim zamanının geciktikçe bitki boyu kısalıp, bitkide bakla ve tane sayısı azaldığından verimin düştüğü sonucuna ulaşılmıştır. Akdağ (1995), Üstün ve Gülümser (2003) ile Erman ve Tüfenkçi (2004)'nin yapmış oldukları çalışmalarda ekim zamanının gecikmesi ile birim alan tane veriminde önemli düşüşlere neden olacağını bildirmişlerdir.

3.8. Hasat İndeksi (%) ve Yüz Tane Ağırlığı (g)

Hasat indeksi bakımından ekim zamanları arasında istatistiki olarak bir fark olmadığı belirlenmiş ve ortalama değerler % 37.7-44.98 arasında değişmiştir. Yüz tane ağırlığı bakımından en yüksek ortalama değer 38.72 g ile birinci ekim zamanından, en düşük değer 29.74 g dördüncü ekim zamanından elde edilmiştir. Ekim zamanı geciktikçe yüz tane ağırlıklarında azalmalar görülmüştür. Erken ekilen bitkilerin daha uzun tane doldurma dönemine sahip olması yüz tane ağırlığının yüksek olmasını sağlamaktadır (Akdağ, 1995). Elde edilen sonuçlar Akdağ (1995) ve Atmaca (2008)'in bildirmiş olduğu sonuçlar tarafından desteklenmektedir.

3.9. Tanede Protein Oranı (%)

Protein oranı en yüksek % 24.26 ile birinci ekim zamanından elde edilirken ikinci ekim zamanında % 22.80, üçüncü ekim zamanında % 22.76 ve dördüncü ekim zamanında % 22.67 olarak kaydedilmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde ekim zamanlarının protein oranı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Fakat Topalak ve Ceyhan (2015) ekim zamanı geciktikçe protein oranının arttığını bildirmişlerdir. Yalçın ve ark. (2018)'nin yaptıkları çalışmada protein oranı % 21.66 ile 24.91 arasında değişmiştir.

Çizelge 4. İncelenen özelliklere ait ortalama değerler

Ekim Zamanları	Fizyolojik Olum(gün)	Bitki Boyu (cm)	İlk Bakla		Bitkide	Bitkide
			Yüksekliği (cm)	Anadal Sayısı (adet)	Bakla Sayısı (adet)	Tane Sayısı (adet)
10 Nisan	84.75 a	47.44 a	30.28 a	2.73 a	18.04 a	19.51 a
20 Nisan	71.75 c	35.43 b	17.98 b	1.85 b	14.61 b	15.65 ab
30 Nisan	72.25 bc	30.53 b	14.64 bc	1.71 b	13.65 b	14.22 b
15 Mayıs	73.50 b	32.14 b	12.16 c	1.97 b	13.38 b	14.17 b
Ekim Zamanları	Baklada Tane Sayısı (adet)	Birim alan Tane Verimi (kg/da)	Hasat İndeksi (%)	Yüz Tane Ağırlığı (g)	Tanede Protein Oranı (%)	
10 Nisan	0.93	302.20 a	38.75	38.72	24.26	
20 Nisan	0.93	235.50 b	44.98	37.63	22.80	
30 Nisan	0.97	177.55 c	40.84	31.22	22.76	
15 Mayıs	0.95	168.55 c	37.70	29.74	22.67	

Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık 0.05 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 5. Nohut kesine ait ortalama değerler

Ekim Zamanları	Kes Verimi (kg/da)	Kes Protein Oranı (%)	ADF (%)	NDF (%)	Ca (%)
10 Nisan	331.5	10.86	39.15	52.42	1.55 b
20 Nisan	347.5	10.51	38.43	50.75	1.65 b
30 Nisan	289.5	11.02	38.75	50.72	1.68 ab
15 Mayıs	270.0	9.96	38.41	50.86	1.86 a

Ekim Zamanları	K (%)	Mg (%)	P (%)	KM (%)
10 Nisan	3.30	0.168	0.22	91.22 ab
20 Nisan	3.01	0.185	0.20	90.53 bc
30 Nisan	3.08	0.183	0.21	90.31 c
15 Mayıs	3.01	0.180	0.20	91.92 a

Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık 0.05 düzeyinde önemlidir.

3.10. Kes Verimi (kg/da) ve Kes Protein Oranı (%)

Farklı ekim zamanlarının nohut kes verimi ve kes protein oranları ortalama değerleri incelendiğinde kes verimleri 270.0-347.5 kg/da ve kes protein oranları ise % 9.96-11.02 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ekim zamanlarının kes veriminde ve kesteki protein oranı üzerinde etkisi istatistiksel olarak önemsiz çıkmasına rağmen 20 Nisandan sonraki ekimlerde kes veriminde düşüşler olmuştur. Akdağ ve ark. (1995) ile (Hakyemez, 2006)'in yaptıkları çalışmada, nohutta ekim zamanının gecikmesi ile bitki boyunun kısa kaldığı ve dolayısıyla ot veriminde düşüğünü bildirmişlerdir.

3.11. ADF ve NDF Oranları (%)

Çizelge 4 incelendiğinde, ekim zamanlarının nohut kesindeki ADF ve NDF oranları üzerine etkisi incelendiğinde ortalama değerler sırasıyla % 38.41-39.15 ve % 50.72-52.42 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ekim zamanlarının nohut kesindeki ADF ve NDF oranları üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Nohut keslerinde elde edilen değerler Çağan vd. (2018)'in yem bezelyesinde elde ettiği değerlerle benzerlik göstermektedir.

3.12. Ca, K, Mg, P ve KM (%) İçerikleri

Farklı ekim zamanlarının nohut keslerindeki Ca içerikleri üzerine etkisi incelendiğinde en yüksek oran % 1.86 ile dördüncü ekim zamanından elde edilirken, en düşük oran % 1.55 ile birinci ekim zamanından elde edilmiştir. Ekim zamanı geciktikçe nohut keslerindeki kalsiyum oranı önemli derecede artmıştır. Ekim zamanı bakımından nohut keslerindeki K, Mg, P ve KM içerikleri sırasıyla % 3.01-3.30, % 0.168-0.185, % 0.20-0.22 ve % 90.31-91.92 olarak belirlenmiştir. Tüm ekim zamanlarından elde edilen Ca oranları kaba yemde bulunması gereken % 0.3 değerinin üzerinde çıkmıştır (Kidambi ve ark., 1989; Gülümser ve ark., 2017). Ekim zamanlarının mineral madde içerik ortalama değerleri incelendiğinde hayvanların ihtiyaçlarını gidermesi için gerekli olan P (% 0.2) ve Mg oranı (% 0.1) istenilen düzeydedir (Anon., 1971).

4. Sonuç

Kayseri ekolojik şartlarında farklı ekim zamanlarında nohut bitkisinde verim ve kalite parametrelerinin araştırıldığı bu çalışmada, toprak neminden optimum faydalanmak ve generatif dönemi aşırı sıcaklıkların olduğu periyottan korumak için Nisan ayı başlarında ve mümkünse daha erken nohut ekimi gerçekleştirilmelidir. Çünkü çalışmamızda da olduğu gibi nohut ekimi geciktikçe birim alan tane verimleri önemli derecede düşmektedir. Bu çalışmanın birkaç yıl tekrarlanması Kayseri koşulları için en uygun ekim zamanı belirlenmesinde daha sağlıklı sonuçlar verecektir.

Teşekkür

Bu çalışma, 2209/A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Akdağ, C., Ütebay, H., Düzdemir, O. (1995). Ekim Zamanı, Azot ve Fosfor Dozlarının Nohutta Verim ve Diğer Bazı Özelliklere Etkileri Üzerine Bir Araştırma. Gaziosmanpaşa Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 12: 110-121.
- Anonim, (2001). Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı, Yemlik Tane Baklagiller. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Koruma Kontrol Genel Müdürlüğü, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü, 2001.
- Anonim, 1971. Nutrient requirements of beefcattle. N.A.S. Washinton D.C. 55p.

- Atmaca, E. (2008). Eskişehir Koşullarında Bazı Nohut Çeşit ve Hatlarında Farklı Ekim Zamanı ve Sıra Arası Mesafelerinin Verim, Verim Unsurları ve Kalite Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 99 s,
- Aydoğan, A., Gürbüz, A., Evlice, A. K., Karaca, K. (2011). Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinde Yaprak ve Un Rengi ile. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 20(2), 17-23.
- Bampidis, V. A., Christodoulou, V. (2011). Chickpeas (*Cicer arietinum* L.) in animal nutrition: A review. Animal Feed Science and Technology, 168(1-2), 1-20.
- Çaçan, E., Kaplan, M., Kökten, K., Tutar, H. (2018). Bazı Yem Bezelyesi Hat ve Çeşitlerinin (*Pisum sativum ssp. arvense* L.) Tohum Verimi ve Kes Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2), 275-284.
- Ceran, F., 2015. Farklı Zamanlarda Ekilen Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 49 s. Konya.
- Çiftçi C.Y. ve Adak M.S. (2009). Yemelik Tane Baklagiller. Tarla Bitkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın no: 1569. Ders kitabı: 521. Sayfa 257-308
- Çiftçi C.Y., Adak M.S. 2009. Yemelik Tane Baklagiller. Tarla Bitkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın no: 1569. Ders kitabı: 521, 257- 308.
- Çiftçi, V., Türk, Z. (1998). Güneydoğu Anadolu Koşullarında Ekim Zamanlarının Nohutta (*Cicer arietinum* L.) Verim ve Verim Ögelerine Etkisi Üzerine Bir Araştırma. Doğu Anadolu Tarım Kongresi, 14-18 Eylül 1998, 483-489, Erzurum.
- Düzgüneş, O., T. Kesici, F. Gürbüz, (1983). İstatistik Metodları. AÜZF Yayınları No:861. Ankara.
- Erman, M. ve Tüfenkçi, S. (2004). Farklı Ekim Zamanlarının Nohutta (*Cicer arietinum* L.) Verim ve Verimle İlgili Karakterlere Etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi, 10(3), 342-345.
- FAO, 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Erişim tarihi: 22.03. 2019
- Gülümser, E., Mut, H., Doğrusöz, M. Ç., Başaran, U. (2017). Baklagil Yem Bitkisi Tahıl Karışımların Ot Kalitesi Üzerinde Tohum Oranlarının Etkisi. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 31(3), 43-51.
- Gürbüz, S. (2017). Farklı Ekim Zamanı ve Sıra Arası Mesafelerinin Nohutta (*Cicer arietinum* L.) Verim ve Verim Unsurlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 99 s, Van.
- Hakyemez, B.H. (2006). Adi Fiğ (*Vicia sativa* L.)'de Ekim Zamanlarının Ot ve Tane Verimi Üzerine Etkileri. Uludağ. Üniv. Zir. Fak. Derg., 20(1): 47-55.
- Kaplan, M., Kökten, K., Yılmaz, Ş. H., Arslan, M., Kale, H., Bozkurt, S., & Temizgök, R. 2015. Kara Nohutta (*Cicer arietinum* L.) Ekim Zamanının Ot, Tane ve Kes Verimi ile Kalite Özelliklerine Etkisi. 11. Tarla Bitkileri Kongresi. 7-10 Eylül 2015, Çanakkale.
- Kidambi, S. P., Matches, A. G., Griggs, T. C. (1989). Variability for Ca, Mg, K, Cu, Zn, and K/(Ca+ Mg) ratio among 3 wheatgrasses and sainfoin on the southern high plains. Journal of Range Management, 316-322.
- Özgün ÖS, Biçer BT, Şakar D (2003). Diyarbakır-Bismil Ekolojik Koşullarında Nohutta Farklı Ekim Zamanlarının Verim ve Verim Unsurlarına Etkilerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi, 13-17 Ekim 2003, 2: 428-431, Diyarbakır.
- Özgün, Ö.S., Biçer, B.T., Şakar D. (2005) Gökçe Nohut Çeşidinde Farklı Ekim Zamanlarının Bitkisel ve Tarımsal Özelliklere Etkisi. Türkiye 6. Tarla Bitkileri Kongresi, Antalya, 279-284.
- Sarı, M., Adak, M.S. (1998). Nohut (*Cicer arietinum* L.)'ta Farklı Ekim Zamanlarının Bazı Bitki Özellikleri Ve Verime Etkileri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi 7(2): 57-64.
- Şehirali S., 1988. Yemelik Dane Baklagiller, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, 1089, Ders Kitabı 314
- Şehirali, S., (1988). Yemelik Dane Baklagiller Kitabı syf: 337 Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Kitabı: 314
- Topalak, C., Ceyhan, E. (2015). Nohutta Farklı Ekim Zamanlarının. Tane Verimi ve Bazı Tarımsal Özellikler Üzerine Etkileri. Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi 2(2):128-135.
- Tuik, 2017. <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>. Erişim Tarihi: 01.04.2017
- Üstün A, Gülümser A. (2003). Orta Karadeniz Bölgesinde Nohut İçin Uygun Ekim Zamanının Belirlenmesi. Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi, 13-17 Ekim 2003, 2: 110-120, Diyarbakır
- Van Soest PJ, Wine R. H. (1967). The use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. determination of plant cell wall constituents. JAOAC; 50(1): 50-5.
- Van, S. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. Ass. Official Anal. Chem, 46, 829-83.
- Wood, J. A., & Grusak, M. A. (2007). Nutritional value of chickpea. Chickpea breeding and management, 101-142.
- Yalçın F, Mut Z, Erbas Kose OD (2018). Afyonkarahisar ve Yozgat Koşullarında Yüksek Verim Sağlayacak Uygun Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Belirlenmesi. JAFAG, 35 (1), 46-59.
- Yiğitoğlu D, Anlarsal A.E. (2012). Kahramanmaraş Koşullarında Farklı Bitki Sıklıklarının Kışlık ve Yazlık Ekilen Bazı Nohut Çeşitlerinde (*Cicer arietinum* L.) Verim ve Verim İle İlgili Özelliklere Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 27(2): 11-20.



Stokastik Süreler İçeren Kapasite Kısıtlı Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi

Duygu Taş^{1*}

¹ MEF Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3579-4600)

(İlk Geliş Tarihi 1 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 18 Haziran 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.559645)

ATIF/REFERENCE: Taş, D. (2019). Stokastik Süreler İçeren Kapasite Kısıtlı Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 441-453.

Öz

Bu makalede üretim ve kurulum süreleri stokastik olan kapasite kısıtlı çok ürünlü dinamik parti büyüklüğü belirleme problemi ele alınmıştır. Bu problemde tüm sürelerin stokastik olduğu durum göz önünde bulundurularak hem verimli hem de güvenilir üretim planları elde edilmektedir. Ele alınan problemin amacı klasik üretim maliyetleri ve ek mesai maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti en küçükmektir. Klasik maliyetler, üretim, kurulum ve envanter tutmaktan kaynaklanmaktadır. Ek mesai maliyetleri ise makinenin zaman kapasitesini aşacak şekilde kullanılmasından dolayı ortaya çıkmaktadır. Öncelikle, belirli bir üretim ve kurulum planı için beklenen ek mesai süresini kesin olarak hesaplayan bir prosedür önerilmiştir. Problemi etkin bir şekilde çözmek için tabu algoritmasına dayanan bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşım üç aşamadan oluşmaktadır: Başlangıç, iyileştirme ve planlama. Algoritmanın ilk aşamasında olurlu planlar üreten bir başlangıç metodu önerilmiştir. Bulunan planlar makalede önerilen tabu arama metoduyla iyileştirilmektedir. Planlama aşamasında, yerel arama metodunun bulunduğu çözümleri iyileştirmek için bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Çözüm yöntemimizin performansı literatürde yayınlanmış alt sınırlar kullanılarak onaylanmıştır. Ayrıca, sonuçlar tabu arama yöntemimizin makul sürelerde çok iyi çözümler elde ederek iyi performans sergilediğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Parti büyüklüğü belirleme, Stokastik üretim zamanları, Stokastik kurulum zamanları, Ek mesai maliyetleri

Capacitated Lot Sizing Problem with Stochastic Times

Abstract

In this paper, we study a capacitated multi-item dynamic lot sizing problem with stochastic production and setup times. In this problem, we consider stochastic times to obtain production plans that are both efficient and reliable. The objective of the considered problem is to minimize the total cost including regular production costs and expected overtime costs. The regular costs result from production, setup and inventory holding. The expected overtime costs are incurred due to the excess usage of the machine capacity. First, a procedure that exactly computes the expected overtime for a given production and setup plan is developed. A solution procedure based on tabu search algorithm is proposed to effectively solve the problem. This procedure includes three main phases: initialization, improving, and scheduling. In the first phase of the algorithm, an initialization method is developed to construct feasible production plans. These plans are then improved by the proposed tabu search method. In the scheduling phase, a linear programming model is developed to further improve the solutions obtained by the local search method. The performance of our solution procedure is validated by the lower bounds reported in the literature. Moreover, results show that our tabu search method performs well by obtaining very good solutions in reasonable amount of times.

Keywords: Lot sizing problem, Stochastic production times, Stochastic setup times, Overtime costs.

* Sorumlu Yazar: MEF Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3579-4600, duygu.tas@mef.edu.tr

1. Giriş

Üretim planlama ve envanter yönetimi için önerilen modeller iki ana gruba ayrılmaktadır (bkz. Jans ve Degraeve, 2007, 2008). Birinci grupta sürekli zaman çizelgesi, sabit talep ve sonsuz zaman ufku içeren formülasyonlar vardır. Bu kategori altında, ekonomik sipariş miktarı belirleme ve ekonomik parti planlaması problemleri örnek verilebilir. İkinci grupta ise kesikli zaman çizelgesi, dinamik talep ve sonlu zaman ufkunu ele alan modeller bulunmaktadır. Daha belirgin olarak, zaman çizelgesi periyotlardan oluşmakta (örneğin, hafta ya da ay), ürünlerin talepleri her periyotta değişkenlik gösterebilmekte ve üretim planlaması belirli bir süre için yapılmaktadır. Bu özelliklere sahip olduğu için Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi (PBBP) ikinci gruba dahildir.

Kapasite kısıtlı PBBP’de birçok farklı ürün aynı zaman periyodunda tek bir makine ile üretilebilmektedir ve amaç her ürünün talebini karşılayan en az maliyetli üretim planını elde etmektir. Daha belirgin olarak, problem her bir ürünün üretim zamanlarını ve üretim miktarlarını belirleyen en iyi planı bulmayı amaçlamaktadır. Problemin klasik tanımında üretim ve kurulum sürelerinin gerekirci olduğu farz edilmektedir. Diğer bir deyişle, matematiksel olarak bu problem gerekirci sürelerin makinenin zaman kapasitesine riayet edecek şekilde planlanmasına karşılık gelmektedir. Ancak, gerekirci çözümlerin niteliği sürelerin stokastik olduğu gerçek hayat problemlerine uygulandığında bozulur. Stokastik süreleri göz önünde bulundurmak, elde edilen planın zaman kapasitesine riayet edip etmediğini değerlendirmek için daha zengin bir stokastik kriter setine olanak sağlamaktadır. Bu stokastik kriterlerin tanımlanması ve PBBP’ye dahil edilmesi bu makalenin ana konusunu oluşturmaktadır.

Gerçek yaşam uygulamalarında üretim ve kurulum aşamalarında çeşitli sebeplerden kaynaklanan değişkenlikler mevcuttur. Operasyonel aşamada ortaya çıkan verimsizliğin üstesinden gelmek için literatüre PBBP’nin bazı stokastik versiyonları tanıtılmıştır. Stokastik problemler üzerine yazılmış tarama makaleleri için ilgili okuyucu Aloulou ve diğ. (2014), Brahimi ve diğ. (2017) ve Tempelmeier (2013) tarafından sunulan çalışmalara yönelebilir (detaylı literatür araştırması Bölüm 2’de sunulmaktadır). Bölüm 2’de de belirtildiği üzere stokastik versiyonlar çoğunlukla talep belirsizliğine (Bookbinder ve Tan, 1988; Brandimarte, 2006; Dellaert ve Melo, 1998; Jeunet ve Jonard, 2000; Koca ve diğ., 2015) ve stokastik makine bozulmalarına (Kuhn, 1997; Nourelfath, 2011) odaklanmıştır. Bu makalede ise bir olasılık dağılımını takip eden stokastik üretim ve kurulum sürelerini göz önünde bulunduran bir versiyon çalışılmaktadır. Stokastik süreleri kullanmak hem verimli hem de güvenilir üretim planları elde etmemize olanak sağlamaktadır. Üretim maliyetlerine ek olarak makinenin kapasitesinin üzerinde çalıştırılmasından kaynaklanan ek mesai maliyetleri de göz önünde bulundurulmaktadır.

Bu makalede tanıtılan probleme odaklanmamızı sağlayan motivasyon belirli bir aktivitenin uygulanması sırasında kendiliğinden her zaman var olan değişkenliktir. Stokastik süreleri planlama aşamasında göz önünde bulundurarak ve ele alınan probleme dahil edilen stokastik performans ölçümlerini kullanarak, üretim yapmak için harcanan sürenin doğru bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Pratikte, bu değerlendirmeler makinenin kapasitesine göre yapılmaktadır. Gerçek hayat uygulamalarında üretim ve kurulum süreleri belirsiz oldukları ve bu sebeple tahmin edilemedikleri için makine kapasitesi potansiyel olarak esnektir. Sonuç olarak, pratik uygulamalarda makine çoğunlukla kapasitesini aşacak şekilde kullanılmaktadır.

Bu makalede çalışılan problem için Taş ve diğ. (2019) tarafından literatüre tanıtılan model temel alınmaktadır. Taş ve diğ. (2019), PBBP için stokastik kurulum sürelerini göz önünde bulunduran yeni bir versiyon tanıtmışlardır. Önerdikleri modeli çözmek için etkili çalışan iki sezgisel metod geliştirmişlerdir. Ortalama numune yaklaşımı ile elde ettikleri alt ve üst sınırları kullanarak bu sezgisel yöntemlerin performans değerlendirmesini yapmışlardır. Bu makalede önerilen problem hem stokastik kurulum sürelerini hem de stokastik üretim sürelerini göz önünde bulundurduğu için, Taş ve diğ. (2019) tarafından tanıtılan versiyonun genişletilmiş halidir. Problemin amacı klasik üretim maliyetleri ve ek mesai maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti en küçüklemektir. Klasik maliyetler üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar üretim maliyetleri, kurulum maliyetleri ve envanter tutmaktan dolayı ortaya çıkan maliyetlerdir. Ek mesai maliyetleri ise makinenin zaman kapasitesini aşacak şekilde kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Sürelerdeki belirsizlik bu maliyetleri hesaplarken göz önünde bulundurulmaktadır.

Ele alınan probleme eniyi olmasa da yüksek kaliteli sonuçlar üretmek için başlangıç, iyileştirme ve planlama aşamalarından oluşan bir çözüm yöntemi önermekteyiz. Başlangıç aşamasında bir gerekirci parti büyüklüğü belirleme problemi kullanılmaktadır. Elde edilen çözüm tabu arama metoduyla iyileştirilmektedir. Tabu arama metodu içerisinde belirli iterasyonlarda kurulum değişkenleri sabit tutularak en iyi üretim ve envanter miktarlarını veren planlar bulunmakta, böylelikle yerel arama metodunun bulunduğu sonuçlar için ileri iyileştirme sağlanmaktadır. Üretim ve kurulum sürelerindeki belirsizlik gerçek hayat problemleri için oldukça ilgili olmasına rağmen şimdiye kadar her iki sürenin stokastik olduğu bir araştırma yapılmamıştır. Dolayısıyla, bu makalede tanıtılan problem ve önerilen çözüm yöntemi ilgili literatürü genişletmektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. PBBP’nin gerekirci ve stokastik versiyonlarının göz önünde bulundurulduğu literatür araştırması Bölüm 2’de verilmektedir. Çalışmada tanıtılan problem ve kullanılan formülasyonlar Bölüm 3’te anlatılmaktadır. Bölüm 4’te kurulum ve üretim sürelerinin özellikleri verilmektedir. Beklenen ek mesai süresini hesaplayan prosedür Bölüm 5’te detaylı şekilde anlatılmaktadır. Bölüm 6’da önerilen çözüm yöntemleri ve Bölüm 7’de hesaplamalı sonuçlar sunulmaktadır. Son olarak, Bölüm 8’de ana bulgular ve ayrıca ileri araştırmalar için öneriler verilmektedir.

2. Literatür Özeti

Bu kısımda, literatürde çalışılmış gerekirci parti büyüklüğü belirleme problemleri, ve talep ve zamanların değişkenlik gösterdiği stokastik parti büyüklüğü belirleme problemleri ele alınmaktadır. Ek olarak, stokastik makina arızaları gibi üretim ortamı ile ilgili olan belirsizliklerin dikkate alındığı problemler de sunulmaktadır. Bölüm sonunda bu makalede çalışılan problemin tüm bu problemlerden farkları ayrıca belirtilmektedir.

Tek ürünlü ve çok ürünlü kapasite kısıtlı parti büyüklüğü belirleme problemi *NP-zor birleşimsel eniyileme problemleri* sınıfına dahildir (Bitran ve Yanesse, 1982). Bu problem için literatürde etkin bir şekilde çalışan birçok eniyi ve sezgisel yöntem önerilmiştir. Brahimi ve diğ. (2006) tarafından sunulan tarama makalesinde hem kapasite kısıtlı hem kapasite kısıtsız tek ürünlü versiyonlar ele alınmaktadır. Jans ve Degraeve (2007, 2008) birçok parti büyüklüğü belirleme problemi için geliştirilmiş mevcut matematiksel formülasyonların ve meta-sezgisel yaklaşımların anlatıldığı kapsamlı tarama makaleleri sunmaktadır. Buschkühl ve diğ. (2010) çok ürünlü dinamik parti büyüklüğü belirleme problemleri için önerilmiş modellere ve algoritmalara odaklanmakta, ve çeşitli eniyi ve yaklaşık metodları incelemektedirler.

Hindi ve diğ. (2003), ve Süral ve diğ. (2009) klasik PBBP için Lagrange gevşetmesine dayanan sezgisel metodlar geliştirmektedirler. İlgili okuyucu klasik PBBP modeline etkili alt sınırlar üreten prosedür ile ilgili detaylar için Jans ve Degraeve (2004) makalesine yönelebilir. Bu prosedür ağ formülasyonunun her bir zaman periyodu için alt problemlere ayrıştırılarak çözülmesine dayanmaktadır. Özdamar ve Birbil (1999), Özdamar ve Barbarosoğlu (1998), ve Barbarosoğlu ve Özdamar (2000) klasik PBBP için gerekirci ek mesai sürelerini ele almaktadırlar. Geliştirilen modeller benzetimli tavlama ve genetik algoritmasına dayanan sezgisel yöntemlerle çözülmektedir. Diaby ve diğ. (1992a,1992b) gerekirci ek mesai sürelerinin sınırlı olduğu versiyon için Lagrange gevşetmesine dayanan iki çözüm yöntemi geliştirmektedirler. Daha belirgin olarak, Diaby ve diğ. (1992a) bu iki çözüm yöntemini dal-ve-sınır algoritmasıyla birlikte, ve Diaby ve diğ. (1992b) sezgisel bir metotla birlikte uygulamaktadırlar.

Parti büyüklüğü belirleme problemlerinin stokastik versiyonları çoğunlukla talep belirsizliğine odaklanmaktadır. İlgili okuyucu, stokastik parti büyüklüğü belirleme problemleri üzerine hazırlanmış detaylı tarama çalışmaları için Tempelmeier (2013), ve Aloulou ve diğ. (2014) makalelerine yönelebilir. Bookbinder ve Tan (1988) stokastik talepleri ele almakta ve geliştirdikleri modelde α -servis seviyesi kısıtlarını kullanmaktadır. Önerdikleri modelde, α envanterin eksi olmayan bir değer alma olasılığına karşılık gelmektedir. Bu çalışmalarında ayrıca statik belirsizlik, dinamik belirsizlik ve statik-dinamik belirsizlik olmak üzere üç strateji önermektedirler. Statik belirsizlik stratejisinde donmuş çizelgeleme fikri uygulanmaktadır. Diğer bir deyişle, bu stratejide zamanlama ve üretim seviyeleriyle ilgili tüm kararlar planlama ufkunun başında belirlenir. Bu makalede çalışılan problem için üretim miktarlarına ve makine kurulumlarına gerçek kurulum zamanları gözlemlenmeden önce karar verildiğini farz etmekteyiz. Daha belirgin olarak, bu uygulama Bookbinder ve Tan (1988) tarafından önerilen statik belirsizlik stratejisine karşılık gelmektedir. Jeunet ve Jonard (2000), talepte görülen belirsizliğin üretim planları üzerindeki etkisini değerlendirmek için birkaç parti büyüklüğü belirleme tekniği önermektedirler. Bu değerlendirme maliyet açısından etkinlik ve dayanıklılık olmak üzere iki kritere göre yapılmaktadır. Simülasyon prosedürleriyle elde edilen sonuçlar bu iki kriterin negatif iniltili olduğunu göstermektedir. Brandimarte (2006), talep belirsizliğini yönlü senaryo ağacı kullanarak tasvir etmektedir ve bu gösterim telafi içeren stokastik çok-katlı karışık-tamsayı programlama modeline karşılık gelmektedir. Önerilen formülasyon tesis-yerleşimi modeline dayanmaktadır. Bu formülasyon için sabitleme-ve-gevşetme metodunu kullanan bir sezgisel algoritma uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, talep belirsizliğini planlama aşamasında göz önünde bulundurmamak kayda değer iyileştirmeler sağlamaktadır. Bu durum özellikle kapasite kısıtının çok sıkı olduğu problem örneklerinde daha belirgin olarak gözlemlenmektedir. Yakın zamanda, Koca ve diğ. (2015) stokastik taleplerin ve kontrol edilebilir üretim sürelerinin olduğu bir kapasite kısıtlı parti büyüklüğü belirleme problemini ele almaktadırlar. Spesifik olarak, her bir periyottaki talepler Normal dağılımı takip etmektedir. Ayrıca, dışarıdan kaynak temin ederek ya da makine hızı ayarlanarak üretim süreleri düşürülebilmektedir. Üretim sürelerindeki azaltma, kısaltma maliyetleri adı verilen ek maliyetlere sebep olmaktadır. Çalışmada kısaltma maliyeti fonksiyonunun dışbükey bir fonksiyon olduğu farz edilmektedir. Önerilen problem, Bookbinder ve Tan (1988) makalesinde geliştirilen statik belirsizlik stratejisi ve α -servis seviyesi kısıtları kullanılarak çözülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, kapasite kısıtının orta seviyede olduğu ve yüksek kurulum maliyetlerinin göz önünde bulundurulduğu problem örnekleri için kontrol edilebilir üretim süreleri çok daha etkili çalışmaktadır.

Stokastik PBBP versiyonları çoğunlukla bir ürün, bir periyot ve bir makine içermektedir (Aloulou ve diğ, 2014). Beraldi ve diğ. (2006) özdeş paralel makineler ve stokastik üretim sürelerinin göz önünde bulundurulduğu bir versiyonu çalışmışlardır. Stokastik parametreler senaryo ağacı kullanılarak modellenmiştir ve problemi çözmek için çok katlı, karışık tam sayılı stokastik programlama formülasyonu önermişlerdir. Bu formülasyonu çözmek için sabitleme-ve-gevşetme metoduna dayanan sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Dellaert ve Melo (1998), sipariş usulü üretim ortamı için bir ürün içeren stokastik üretim sistemini ele almaktadırlar. Benzer stokastik versiyonlar için geliştirilmiş mevcut stratejiler, ek mesai maliyetleri göz önünde bulundurulmuş daha etkin hale getirilmektedir. Ek mesai ücretleri, toplam üretim süresinin makinenin kapasitesini aşması halinde ortaya çıkmaktadır. Bu sistemde, kapasite sadece üretim sürelerinden dolayı tüketilmektedir. Diğer bir deyişle kurulum süreleri ele alınmamaktadır. Önerdikleri versiyonda, stokastik bilgi kısmi müşteri siparişlerinden dolayı kaynaklanmaktadır. Eniyi parti büyüklüğüne yakın sonuçlar veren birçok prosedür önerilmektedir. Bu yöntemler, literatürde stok için üretim problemini çözmede sıkça kullanılan (s,S) ve (R,S) metodlarına dayanmaktadır.

Stokastik sürelerin veya stokastik makine bozulmalarının göz önünde bulundurulduğu problemler ise oldukça yakın zamanda az sayıda çalışmada ele alınmıştır. Taş ve diğ. (2019) stokastik kurulum sürelerinin ele alındığı çok ürünlü kapasite kısıtlı parti büyüklüğü belirleme problemini çalışmışlardır. Verilen kapasitenin, kurulum sürelerinin gerçekleştiği andaki değerlerinden dolayı yetersiz kalması halinde şirketin ek mesai kullanabildiği farz edilmektedir. Bu problem için gerekirci modellerin belirli parametrelerinin değiştirilmesi prensibine dayanan iki tane sezgisel metot önerilmektedir. Ayrıca, amaç fonksiyonun üst ve istatistiksel alt sınırlarını hesaplamak için ortalama numune yaklaşımı geliştirilmektedir. Kuhn (1997) bir ürün içeren kapasite kısıtsız parti büyüklüğü belirleme problemini stokastik makine bozulmalarıyla ele almaktadır. Bu problem için iki durum göz önünde bulundurulmaktadır: (i) makine bozulduktan sonra kurulum tamamen zayi olur ve yeni bir kurulum gerekir, (ii) makine bozulduktan sonra aynı ürünün üretimini devam ettirmenin maliyeti orijinal kurulum maliyetinden çok daha ucuzdur. Çözüm yöntemi olarak, her iki durum için de eniyi üretim planını elde eden stokastik dinamik programlama modelleri önerilmektedir. Nourelfath (2011) çok ürün ve çok periyot içeren kapasite kısıtlı dinamik parti büyüklüğü belirleme problemini çalışmaktadır. Bu problemde, makine

bozulmalarının stokastik oldukları farz edilmektedir ve kapasite sadece üretim sürelerinden dolayı tüketilmektedir. Diğer bir deyişle, kurulum süreleri ele alınmamaktadır. Önerilen model, müşteri hizmet seviyesini önceden belirlenmiş bir değer dahilinde karşılamayı sağlayacak bir dizi olasılıksal kısıtlamalar içerir ve iki aşamalı bir yöntemle çözülmektedir.

Bu makalede, kapasite kısıtlı çok ürünlü dinamik parti büyüklüğü belirleme probleminin stokastik bir versiyonunu çalışmaktayız. Bu versiyonda, kurulum ve üretim süreleri bilinen bir olasılık dağılımına göre değişkenlik göstermektedir. Amaç, toplam beklenen maliyeti (klasik üretim maliyetleri ve beklenen ek mesai maliyetleri) enküçükleyen bir üretim planı elde etmektir. Ek mesai maliyetleri, makinenin zaman kapasitesini aşacak şekilde kullanımından dolayı kaynaklanmaktadır. Verimli sonuçlar elde etmek için tabu metoduna dayanan ve başlangıç, iyileştirme ve planlama aşamalarından oluşan bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Bu makalede ele alınan stokastik versiyon ve önerilen çözüm yöntemleri, şimdiye kadar başka parametrelerdeki belirsizliği çalışmış olan problemleri (bkz. talepler, sadece kurulum süreleri, sadece üretim süreleri ve makine bozulmaları) ve mevcut çözüm yöntemlerini geliştirmektedir. Diğer bir deyişle, bu çalışmayla literatürdeki gerçek hayat uygulamalarına ilişkin önemli boşluklar doldurulmaktadır.

3. Problem Tanımı ve Formülasyon

Klasik PBBP modellerinde $P = \{1, \dots, n\}$ ürün kümesini ve $T = \{1, \dots, m\}$ zaman periyodu kümesini simgelemektedir. Birçok ürün aynı zaman periyodunda üretilmektedir ve bütün ürünler için her t zaman periyodunda kısıtlı üretim kapasitesi olan (C_t) tek bir makine kullanılmaktadır. Herhangi bir periyotta ürün i için üretim başlarsa o ürün için maliyeti sc_i olan ve kapasiteden st_i birim kullanan makine kurulumu yapılması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, st_i gerekirci kurulum süresine karşılık gelmektedir. Ürün i 'den bir birim üretmek vc_i maliyetine ve kapasiteden vt_i birim kullanılmasına sebep olmaktadır. Diğer bir deyişle, vt_i gerekirci birim üretim süresine karşılık gelmektedir. Ürün i için periyot sonunda bir birim envanter bulundurma hc_i maliyetini beraberinde getirmektedir. Ayrıca, her ürün için (i) her periyot içerisinde (t) karşılanması gereken talep bilinmektedir (d_{it}).

Bu tanımlardan sonra kapasite kısıtlı çok ürünlü dinamik PBBP için tanımlan standart formülasyon (Model-SF) aşağıdaki şekilde verilmektedir. Bu modelde, x_{it} ürün i 'den periyot t içerisinde üretilen birim sayısını, y_{it} ürün i ve periyot t ile ilişkilendirilmiş ikili kurulum değişkenini ve s_{it} ürün i 'den periyot t sonunda elde kalan birim sayısını (periyot sonu envanter) göstermektedir. Bu modelin amacı (1) toplam üretim, kurulum ve envanter maliyetlerini enküçültmektir. (2) kısıt kümesi, kütle dengesi denklemlerine karşılık gelmektedir: Her ürün i için t periyodundaki talep o periyotta yapılan üretim ve bir önceki periyottan aktarılan envanterle karşılanır, artan miktar bir sonraki periyotta kullanılacak olan envanteri oluşturur. (3) kısıt kümesi, herhangi bir periyotta bir ürünün üretilmesinin o ürün için o periyotta bir kurulum gerektirdiğini belirtmektedir. Bu kısıt kümesinde M çok büyük bir sayıya karşılık gelmektedir ve değeri $\sum_{j=t}^m d_{ij}$ formülü kullanılarak belirlenir. Diğer bir deyişle, ürün i için periyot t içerisinde yapılacak olan üretim, kalan talep (periyot t 'den periyot m 'ye kadar karşılanması gereken toplam talep) tarafından sınırlandırılmaktadır. (4) kısıt kümesi, her bir periyotta toplam üretim ve kurulum süresinin makine kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır. (5) kısıt kümesine ardışmarlamaya izin verilmediği için ihtiyaç duyulmaktadır. (6) ve (7) kısıt kümeleri sırasıyla, üretim ve kurulum değişkenlerinin değer alanını belirtmektedir.

$$\min \sum_{i \in P} \sum_{t \in T} vc_i x_{it} + sc_i y_{it} + hc_i s_{it} \quad (1)$$

$$s_{i,t-1} + x_{it} = d_{it} + s_{it}, \quad i \in P, t \in T, \quad (2)$$

$$x_{it} \leq M y_{it}, \quad i \in P, t \in T, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in P} vt_i x_{it} + st_i y_{it} \leq C_t, \quad i \in P, t \in T, \quad (4)$$

$$s_{it} \geq 0, \quad i \in P, t \in T, \quad (5)$$

$$x_{it} \geq 0, \quad i \in P, t \in T, \quad (6)$$

$$y_{it} \in \{0,1\}, \quad i \in P, t \in T. \quad (7)$$

3.1. Stokastik Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi

Bu makalede bilinen bir olasılık dağılımına göre değişkenlik gösteren stokastik üretim ve stokastik kurulum zamanları ele alınmaktadır. Üretim miktarlarına ve uygulanacak olan makine kurulumlarına gerçek üretim ve kurulum süreleri bilinmeden önce karar verildiği farz edilmektedir. Diğer bir deyişle, problem donmuş çizelgelemeye göre çözülmektedir. Bu uygulama Bookbinder ve Tan (1988) tarafından literatüre tanımlan statik belirsizlik stratejisine karşılık gelmektedir. Daha belirgin olarak, gerçek üretim ve kurulum süreleri ürünler üretildiği anda ortaya çıkmaktadır. Planlama aşamasında elde edilen üretim planı operasyonel aşamada değiştirilmemekte, ama makinenin zaman kapasitesinin yeterli olmadığı durumlarda ek mesai kullanımına başvurulmaktadır. Bundan dolayı, amaç fonksiyonuna beklenen ek mesai süresinden kaynaklanan ilave bir maliyet eklenmektedir.

Bu çalışmada, Taş ve diğ. (2019) tarafından literatüre tanıtılan ve sadece stokastik kurulum sürelerini göz önünde bulunduran modele odaklanılmıştır. Modelde ek mesai süresinin hesaplanması önemli bir adımı oluşturmaktadır. Bu makalede ele alınan problemde üretim süreleri de stokastik olduğu için bu unsurun yeni probleme göre hesaplanması literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

Stokastik üretim ve kurulum sürelerini içeren model (Model-SSM) aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$\min \sum_{i \in P} \sum_{t \in T} (vc_i x_{it} + sc_i y_{it} + hc_i s_{it}) + \sum_{t \in T} oc_t O_t(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) \quad (8)$$

$$s_{i,t-1} + x_{it} = d_{it} + s_{it}, \quad i \in P, t \in T, \quad (9)$$

$$x_{it} \leq M y_{it}, \quad i \in P, t \in T, \quad (10)$$

$$s_{it} \geq 0, \quad i \in P, t \in T, \quad (11)$$

$$x_{it} \geq 0, \quad i \in P, t \in T, \quad (12)$$

$$y_{it} \in \{0,1\}, \quad i \in P, t \in T. \quad (13)$$

Yukarıdaki modelin amacı (8) iki kısımdan oluşan toplam beklenen maliyeti en küçültmektir. İlk kısım üretim, kurulum ve envanterden kaynaklanan klasik üretim maliyetidir. İkinci kısım ise beklenen ek mesaiden kaynaklanan maliyettir. Kapasitenin esnek kısıt olarak ele alınması beklenen ek mesai maliyetinin amaç fonksiyonuna eklenmesini sağlamaktadır. Diğer bir deyişle, standart formülasyonda olan (4) kısıt kümesi bu modele dahil edilmemektedir. Ancak, kapasite kısıtı dolaylı olarak beklenen ek mesai süresinin hesaplanmasında göz önünde bulundurulmaktadır. Modeldeki kısıtlar talep (9), kurulum (10) ve değişkenlerin değer alanları (11–13) ile ilgilidir. Bu formülasyon telafi içeren iki aşamalı stokastik programlamaya karşılık gelmektedir (Birge ve Louveaux, 2011). Diğer bir deyişle, üretim ve kurulum kararları ilk aşama kararlarına ve ek mesai süreleri de ikinci aşama kararlarına karşılık gelmektedir.

Bu modelde, $O_t(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t)$ periyot t içerisinde gerçekleştirilen üretim planının beklenen ek mesai süresine karşılık gelmektedir. \mathbf{x}_t ve \mathbf{y}_t birer vektördür ve şu şekilde tanımlanmaktadır: $\mathbf{x}_t = \{x_{it} \mid i \in P\}$ ve $\mathbf{y}_t = \{y_{it} \mid i \in P\}$. Bu vektörler sırasıyla periyot t içerisinde her üründen kaç birim üretildiğini ve karşılık gelen makine kurulumlarını göstermektedir.

4. Stokastik Sürelerin Özellikleri

Bu makalede üretim ve kurulum sürelerinin Gama dağılımını takip ettiği farz edilmektedir. Gama dağılımında büyük değerlerin görülme ihtimali küçüktür. Bu varsayım problemde ele alınan süreler için oldukça gerçekçidir. Ayrıca, bu dağılımın toplamsal özelliği beklenen ek mesai sürelerini hesaplamada çok önemli bir rol oynamaktadır. Gama dağılımını takip eden değişkenler eksi değer alamazlar. Bir başka önemli nokta da Üstel, Erlang ve Ki-kare gibi dağılımların Gama dağılımının özel bir haline karşılık gelmeleridir.

Birim (üretim ya da kurulum) sürenin T ile gösterildiğini ve bu sürenin şekil parametresi α ve ölçek parametresi λ olan Gama dağılımı ile ifade edildiğini varsayalım. Bu durumda, karşılık gelen olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$f(w) = \frac{e^{-w/\lambda} w^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)\lambda^\alpha} \quad (14)$$

$$F(\delta) = Prob(w \leq \delta) = \Gamma_{\alpha,\lambda}(\delta) = \int_0^\delta \frac{e^{-z/\lambda} z^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)\lambda^\alpha} dz \quad (15)$$

Yukarıdaki tanımlamalarda, değişkenlerin değer alanları şu şekildedir: $w \geq 0, \delta \geq 0$ ve $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty e^{-r} r^{\alpha-1} dr$. Bu makalede önerilen yaklaşımda, periyot t içerisinde ürün i 'den x_{it} adet üretmek için harcanan toplam rassal süre V_{it} ile gösterilmektedir ve bu süre $(vt_i x_{it})$ tane birim rassal değişkenin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, V_{it} değişkeni ürün i için harcanan toplam rassal süreyi belirtmektedir ve her birinin Gama dağılımını takip ettiği birim süreler bölünmektedir. Ek olarak, bu değişkenlerin bağımsız ve aynı dağılımı gösterdikleri farz edilmekte ve bu varsayım $V_{it} = \sum_{b=1}^{vt_i x_{it}} T$ tanımını beraberinde getirmektedir. Bu modelleme, toplamsal özelliğinin yardımıyla Gama dağılımı ile ifade edilen üretim zamanlarını türetmeyi sağlamaktadır. Daha belirgin olarak, V_{it} şekil parametresi $\alpha(vt_i x_{it})$ ve ölçek parametresi λ olan Gama dağılımı ile tanımlanmaktadır.

Bu değişkenin ortalama ve değişinti değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$E[V_{it}] = \alpha\lambda(vt_i x_{it}) \quad (16)$$

$$\text{Var}(V_{it}) = \alpha\lambda^2(vt_i x_{it}) \quad (17)$$

Benzer şekilde S_{it} periyot t içerisinde ürün i için makine kurulumundan dolayı harcanan rassal süreyi göstermektedir ve bu süre st_i tane birim rassal değişkenin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bu değişkenlerin bağımsız ve aynı dağılımı gösterdikleri varsayımı $S_{it} = \sum_{b=1}^{st_i} T$ tanımını beraberinde getirmektedir. Diğer bir deyişle, S_{it} şekil parametresi αst_i ve ölçek parametresi λ olan Gama dağılımı ile tanımlanmaktadır. Bu değişkenin ortalama ve değişinti değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$E[S_{it}] = \alpha\lambda st_i \quad (18)$$

$$\text{Var}(S_{it}) = \alpha\lambda^2 st_i \quad (19)$$

Bu çalışmada, her ürün için beklenen üretim süresi ($E[V_{it}]$) ve beklenen kurulum süresinin ($E[S_{it}]$) orijinal değerlerine (vt_i ve st_i) eşit olması için $\alpha\lambda = 1$ uygulanmaktadır. Daha belirgin olarak, $\alpha\lambda = 1$ koşulu stokastik sürelerin ortalama değerlerinin bu değişkenlerin klasik problemde tanımlanan gerekirci değerlerine eşit olmasını sağlamaktadır. İlgili okuyucu benzer uygulamalar için Taş ve diğ. (2013, 2019) makalelerine yönelebilir. Bu yaklaşım, önerilen stokastik problem ve çözüm yaklaşımı tarafından elde edilen sonuçların literatürde tanıtılmış gerekirci ve stokastik modellerin sonuçlarıyla adil bir şekilde karşılaştırılmasını sağlamaktadır.

5. Beklenen Ek Mesai Süresi

Periyot t içerisinde üretilen ürünlerin üretimleri ve makine kurulumları için harcanan toplam süre (Z_t) aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$Z_t = \sum_{i \in P_t} V_{it} + S_{it} \quad (20)$$

Yukarıdaki tanımlamada, P_t periyot t içerisinde üretilen ürünleri gösteren kümeye karşılık gelecektir. Diğer bir deyişle, $P_t = \{i \mid y_{it} = 1, i \in P\}$ şeklinde tanımlanmaktadır. (20) denkleminde kolayca görüleceği üzere Z_t periyot t içerisinde üretilen ürünlerin rassal üretim ve kurulum sürelerinin toplamına karşılık gelmektedir. Bu süreler bağımsız ve aynı dağılımı gösterdikleri için Z_t değişkeni de Gama dağılımı ile tanımlanmaktadır. Bu değişkenin şekil parametresi ve ölçek parametresi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\alpha_t = \alpha \sum_{i \in P_t} (vt_i x_{it}) + st_i \quad (21)$$

$$\lambda_t = \lambda \quad (22)$$

Bu özelliklere göre beklenen ek mesai süresi (23) denklemiyle tanımlanmaktadır. İlgili okuyucu benzer prosedürler için Dellaert ve diğ. (2000) ve Taş ve diğ. (2013, 2019) tarafından sunulan çalışmalara yönelebilir.

$$O_t(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) = \int_{C'_t}^{\infty} (u - C'_t) \frac{e^{-u/\lambda_t} u^{\alpha_t-1}}{\Gamma(\alpha_t)\lambda_t^{\alpha_t}} du \quad (23)$$

Yukarıdaki tanıma göre (23) denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$O_t(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) = \int_{C'_t}^{\infty} \frac{e^{-u/\lambda_t} u^{\alpha_t}}{\Gamma(\alpha_t)\lambda_t^{\alpha_t}} du - \int_{C'_t}^{\infty} C'_t \frac{e^{-u/\lambda_t} u^{\alpha_t-1}}{\Gamma(\alpha_t)\lambda_t^{\alpha_t}} du \quad (24)$$

Gama dağılımının özellikleri kullanılarak beklenen mesai süresi

$$O_t(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) = \alpha_t \lambda_t \left(1 - \Gamma_{\alpha_t+1, \lambda_t}(C'_t)\right) - C'_t \left(1 - \Gamma_{\alpha_t, \lambda_t}(C'_t)\right) \quad (25a)$$

kullanılarak hesaplanmaktadır. Yukarıdaki denklemlerde C'_t arta kalan gerekirci kapasiteye karşılık gelmekte, bu değer de (hem üretim hem de kurulum süreleri stokastik olduğu için) her periyotta makine kapasitesine eşit olmaktadır.

Sadece kurulum sürelerinin stokastik olduğu problem için C'_t gerekirci toplam üretim süresinin kapasiteden çıkarılmasıyla elde edilmektedir ($C'_t = C_t - \sum_{i \in P_t} (vt_i x_{it})$). Eğer makinenin zaman kapasitesi periyot t içerisinde üretim için harcanan toplam süreden küçük ya da eşitse ($C_t \leq \sum_{i \in P_t} (vt_i x_{it})$) beklenen ek mesai süresi (25b) denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$O_t(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) = E[Z_t] + \sum_{i \in P_t} (vt_i x_{it}) - C_t \quad (25b)$$

6. Çözüm Yöntemleri

Bu makalede yüksek kaliteli yaklaşık/sezgisel sonuçlar üretmek için tabu arama metoduna dayanan bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Bu yaklaşım başlangıç, iyileştirme ve planlama aşamalarından oluşmaktadır. Sonuçların kalitesi literatürde rapor edilen istatistiksel alt sınırlar kullanılarak belirlenmektedir. Daha belirgin olarak, stokastik kurulum süreli problem için elde edilen çözümlerin toplam maliyetlerinin, Taş ve diğ. (2019) tarafından bulunan alt sınırlara olan uzaklığı kullanılarak önerilen yaklaşımın performansı değerlendirilmektedir (Bölüm 7.1).

6.1. Başlangıç Metodu

Çözüm yaklaşımının bu adımında klasik PBBP modeli kullanılarak olurlu bir başlangıç çözümü oluşturulmaktadır. Daha belirgin olarak, önce (1)–(7) modeli IBM ILOG CPLEX 12.5 (IBM, 2019) eniyileme yazılımı ile çözülmektedir. Diğer bir deyişle, gerekirci PBBP modeli kullanılarak olurlu planlar elde edilmektedir ve bu planların klasik üretim maliyetleri bilinmektedir. Daha sonra, bu planların beklenen ek mesai maliyetleri stokastik üretim ve kurulum sürelerine göre hesaplanmaktadır. Böylelikle, olurlu üretim planlarının toplam beklenen maliyetleri elde edilmektedir.

Literatürde, klasik parti büyüklüğü belirleme modellerinin birçok formülasyonu verilmektedir (bkz. Pochet ve Wolsey, 2006). Denizel ve Süral (2006) makalesinde belirtildiği üzere orijinal versiyonu Krarup ve Bilde (1977) tarafından sunulan ulaşım problemi formülasyonu bütün modeller içerisinde en iyi performansı göstermektedir. Bu formülasyon orijinal modele göre daha iyi bir gevşetilmiş doğrusal programlama boşluğu elde etmektedir (bkz. Pochet ve Wolsey, 2006). Ayrıca, Taş ve diğ. (2019) tarafından sunulan çalışmada da stokastik problem için ulaşım problemi formülasyonunun standart modele göre daha iyi performans gösterdiği raporlanmıştır. Kapasite kısıtlı çok ürünlü dinamik PBBP modelinin ulaşım problemi formülasyonu (Model-UP) aşağıdaki şekilde verilmektedir. Çözüm yaklaşımının ilk aşamasında olurlu başlangıç planları bulmak için bu formülasyon çözülmüştür.

$$\min \sum_{i \in P} \left(vc_i \sum_{t \in T} \sum_{l=t}^m z_{itl} + sc_i \sum_{t \in T} y_{it} + hc_i \sum_{l \in T} \sum_{t=1}^{l-1} (l-t) z_{itl} \right) \quad (26)$$

$$\sum_{t=1}^l z_{itl} = d_{il}, \quad i \in P, l \in T, \quad (27)$$

$$z_{itl} \leq d_{il} y_{it}, \quad i \in P, t \in T, l = t, \dots, m, \quad (28)$$

$$\sum_{i \in P} \left(\sum_{l=t}^m vt_i z_{itl} \right) + st_i y_{it} \leq C_t, \quad t \in T, \quad (29)$$

$$z_{itl} \geq 0, \quad i \in P, t \in T, l = t, \dots, m, \quad (30)$$

$$y_{it} \in \{0,1\}, \quad i \in P, t \in T. \quad (31)$$

Yukarıdaki modelde, z_{itl} değişkeni periyot l 'de kullanılmak üzere ürün i 'den periyot t içerisinde üretilen birim sayısını göstermektedir ($l \geq t$). Amaç (26) toplam üretim, kurulum ve envanter maliyetlerini en küçültmektir. (27) kısıt kümesi, ürün i 'in periyot l 'deki talebinin periyot t 'ten periyot l 'ye kadar yapılan toplam üretim miktarıyla karşılanmasını sağlamaktadır. (28) kısıt kümesi, her üretim koşumu için bir kurulumun gerektiğini göstermektedir. (29) kısıt kümesi, her bir periyotta toplam üretim ve kurulum süresinin makine kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır. (30) ve (31) kısıt kümeleri sırasıyla, üretim ve kurulum değişkenlerinin değer alanını belirtmektedir.

6.2. Tabu Arama Metodu

Meta-sezgisel yöntemler, özellikle Tabu arama metodu, gerekirci parti büyüklüğü belirleme problemleri için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (bkz. Hindi, 1995; Hindi, 1996; Kimms, 1996; Kuik ve diğ., 1993; Gopalakrishnan ve diğ., 2001; Hung ve diğ., 2003). Bu metodun temel adımları için ilgili okuyucu Glover (1989, 1990), Glover ve Laguna (1997), Glover ve Kochenberger (2003), Michalewicz ve Fogel (2002), ve Ribeiro ve Hansen (2001) tarafından sunulan çalışmalara yönelebilir. Bu metodun başarılı bir şekilde çalışması hem esnek olmasına hem de büyük ve karmaşık problemlerin üstesinden gelebilmesine dayanmaktadır. Sonuç olarak, bu metod klasik parti büyüklüğü belirleme probleminin ticari yazılımlarla çözülemeyecek stokastik versiyonları için özellikle uygundur.

Bu makalede önerilen yaklaşımın ikinci aşamasında, ilk aşamada elde edilen olurlu çözüm tabu arama metodu ile iyileştirilmektedir. Bu algoritmada, her iterasyona başlarken elimizde toplam beklenen maliyeti $z(g)$ ile belirtilen güncel bir g çözümü bulunmaktadır. İlk iterasyonda güncel çözüm, olurlu başlangıç çözümüne karşılık gelmektedir. Her iterasyonda arama yapmak için g çözümünün bir komşuluk bölgesi oluşturulmaktadır. Bu bölge $k(g)$ ile temsil edilmektedir. Komşuluk bölgesi oluşturulurken uygulanan hareket ürün i 'nin tüm üretim miktarını periyot t 'den alıp önceki bir periyoda (periyot q) aktarmaktır, $1 \leq q \leq t - 1$. Daha belirgin olarak, her bir periyottaki her bir ürün için üretim miktarı sırasıyla önceki periyotlara aktarılmaktadır.

Komşuluk hareketiyle oluşturulan her bir olurlu çözüm g' ile, karşılık gelen toplam beklenen maliyeti de $z(g')$ ile belirtilmektedir. Algoritmanın her iterasyonunda komşuluk bölgesindeki en iyi çözüm seçilmektedir ($g^* = \min_{g' \in k(g)} \{z(g')\}$). Seçilen bu çözüm bir sonraki iterasyonda güncel çözüm olarak kullanılmaktadır. Farz edelim ki seçilen çözüm, ürün i 'nin üretimini periyot q 'ye aktarılmasıyla oluşturuldu. Bu durumda (i, q) tabu listesine eklenmekte, böylece ürün i 'nin ϑ iterasyon boyunca üretimi periyot q 'den başka herhangi bir periyoda aktarılmamaktadır. Burada ϑ tabu listesinin boyutuna karşılık gelmektedir ve amaç halihazırda elde edilmiş çözümlere tekrar dönmeyi olabildiğince engellemektir. Herhangi bir hareketin tabu olma durumu aspirasyon kriterini sağlaması halinde geçersiz kalır. Diğer bir deyişle, eğer bir tabu hareketi algoritma tarafından o ana kadar bulunmuş en iyi çözümden daha iyi bir çözüm elde ediyorsa, tabu hareketine izin verilir.

Önerilen tabu arama algoritmasında orta-vadeli hafıza yapısı uygulanmaktadır. Daha belirgin olarak, algoritmanın bulduğu en iyi çözümün η iterasyon boyunca değişmemesi durumunda bu çözüm güncel çözüm olarak belirlenmektedir. Amaç, en iyi çözümün iyileştirme sağlamayan komşuluk bölgelerinden uzaklaşıp başka komşuluk bölgelerinde arama yapmaktır. Diğer bir deyişle, en iyi çözüme daha önceden uygulanmış ve iyileştirme sağlamayan hareketler tabu listesinde tutulmaktadır ve bu hareketler göz ardı edilerek iyileştirme sağlaması muhtemel yeni hareketler uygulanmaktadır.

Tabu algoritmasını durdurmak için iki kriter uygulanmaktadır. Birincisi, algoritmanın θ iterasyon boyunca devam etmesidir. İkincisi, algoritma tarafından elde edilen en iyi çözümün τ iterasyon boyunca ($\eta < \tau < \theta$) güncellenmemesi durumunda algoritma durmaktadır.

6.3. Planlama Metodu

Tabu arama metodunda her μ iterasyonda bir, (32)–(36) doğrusal programlama modeli kullanılarak toplam maliyet iyileştirilmektedir. Güncel çözümün (o iterasyonda elde edilen en iyi çözümün) kurulum değişkenleri modele parametre olarak verilerek en iyi üretim ve envanter değerleri bulunmaktadır. Diğer bir deyişle, her periyotta üretimi yapılan ürünler sabit tutularak üretim ve envanter maliyetleri en küçüklenmektedir. Bu sayede, tabu metodunun elde ettiği çözümler için planlama yapılarak iyileştirme sağlanmaktadır. Bu modelde a_{it} parametresi ürün i güncel çözümün t periyodu içerisinde üretiliyorsa 1, üretilmiyorsa 0 değerini almaktadır.

$$\min \sum_{i \in P} \left(vc_i \sum_{t \in T} \sum_{l=t}^m z_{itl} + hc_i \sum_{l \in T} \sum_{t=1}^{l-1} (l-t)z_{itl} \right) \quad (32)$$

$$\sum_{t=1}^l z_{itl} = d_{il}, \quad i \in P, l \in T, \quad (33)$$

$$z_{itl} \leq d_{il} a_{it}, \quad i \in P, t \in T, l = t, \dots, m, \quad (34)$$

$$\sum_{i \in P} \left(\sum_{l=t}^m vt_i z_{itl} \right) + st_i a_{it} \leq C_t, \quad t \in T, \quad (35)$$

$$z_{itl} \geq 0, \quad i \in P, t \in T, l = t, \dots, m. \quad (36)$$

7. Hesaplamalı Deneyler

Bu çalışmada hesaplamalı deneyler Trigeiro ve diğ. (1989) tarafından gerekirci PBBP için geliştirilmiş olan veri setleri üzerinden yapılmaktadır. Bu çalışmada, kurulum süreleri uzun ve kapasite kullanımı orta seviyede olan 20 ve 30 ürünli 60 problem örneğine odaklanılmıştır. Trigeiro ve diğ. (1989) her problem örneğinde makinenin zaman kapasitesinin tüm periyotlar için aynı olduğunu farz etmişlerdir. Ayrıca, problem örneklerinde birim üretim maliyeti sifıra eşitlenmiştir. Öyle ki, ele alınan problemde tüm talepler karşılanmalıdır ve üretim maliyetleri zamana bağlı değildir. Bundan dolayı, toplam üretim maliyeti sabit bir değere karşılık gelmektedir ve herhangi bir matematiksel modelde ya da çözüm prosedüründe ele alınmasına gerek kalmamaktadır.

Hesaplamalı deneylerin ilk aşamasında, Gama dağılımının parametreleri beklenen sürelerin orijinal sürelerle eşit olmasını sağlayacak şekilde değerler almaktadır ($\alpha\lambda = 1$, $\alpha = 0.0625$ ve $\lambda = 16$). Bu değerlere göre birim süre için göz önünde bulundurulmuş belirsizlik katsayısı 4'e eşit olmaktadır. Ek mesai süresi için ortaya çıkan birim maliyet (oc_t) Taş ve diğ. (2019) tarafından önerilen prosedüre göre hesaplanmaktadır. Daha belirgin olarak, her bir periyottaki toplam envanter tutma ve kurulum maliyeti ekonomik sipariş miktarı (EOQ) yaklaşımı kullanılarak hesaplanmaktadır. Elde edilen maliyet daha sonra toplam kapasiteye bölünmektedir. Diğer bir deyişle, ele alınan problem örneklerinde her t periyodu için kullanılacak olan birim ek mesai maliyeti (37) denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu denklemde ρ parametresinin değeri yapılan ön testlerin sonucuna göre 50 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, \bar{d}_i ürün i için ortalama talep miktarına karşılık gelmektedir ve (38) denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\mathbb{E}[\mathbb{E}_t] = \rho \frac{\sum_{i \in P} \sqrt{2\bar{d}_i s c_i h c_i}}{C_t} \quad (37)$$

$$\bar{d}_i = \frac{\sum_{t \in T} d_{it}}{m} \quad (38)$$

Tabu arama metodunun parametreleri şu şekilde değerler almaktadır: $\theta = 1000$, $\eta = 20$, $\tau = 100$, $\vartheta = 15$, $\mu = 10$. Bu parametreler, farklı değerler kullanılarak yapılan ön deneylerde elde edilen çözümlerin analiz edilmesiyle belirlenmiştir. Bu projede çözüm yöntemleri C++ programıyla kodlanmış ve matematiksel modeller IBM ILOG CPLEX 12.5 (IBM, 2019) kullanılarak çözülmüştür. Matematiksel modellerin CPLEX ile çözümünde zaman limiti 15 dakika olarak belirlenmiştir. Ayrıca, tüm deneyler işletimcisi 2.7 GHz Intel Core i5 ve hafızası 8 GB olan MacBook Pro ile yapılmıştır.

7.1. Stokastik Kurulum Süreleri İçeren PBBP

Önerilen çözüm yöntemlerinin performansını değerlendirmek için öncelikle üretim süreleri gerekirci, fakat kurulum süreleri stokastik olan PBBP ele alınmıştır. Diğer bir deyişle, Taş ve diğ. (2019) tarafından çalışılan problem tabu arama metoduyla çözdürülmüştür. Amaç, yazarların ortalama numune yaklaşımı ile elde ettikleri alt sınır değerlerini kullanarak bu çalışmada bulunan sonuçların kalitesini ölçmektir. Tablo 1’de başlangıç çözümleri ve Tablo 2’de tabu arama metodunun bulunduğu çözümler detaylı olarak sunulmaktadır. Tablo 1’de kolonların açıklaması şu şekildedir: “Ürün” ele alınan problem örneklerindeki ürün sayısını, “TÜ” toplam üretim miktarını, “TK” toplam kurulum sayısını, “TE” toplam envanteri, “BMS” toplam beklenen ek mesai süresini, “TGM” toplam gerekirci maliyeti, “BMM” toplam beklenen ek mesai maliyetini, “TM” toplam maliyeti ve “Süre” CPLEX tarafından çözüm bulmak için harcanan toplam süreyi (saniye cinsinden) belirtmektedir. Tablo 2’de ise “Süre” tabu arama algoritması durana kadar geçen süreyi (saniye cinsinden) göstermektedir. Ayrıca her iki tabloda, bulunan sonuçların amaç fonksiyonu değerlerinin Taş ve diğ. (2019) tarafından rapor edilen alt sınır değerlerine uzaklıkları “ASU (%)” kolonunda belirtilmektedir. Tüm bu değerler veri setlerinin içerdiği problem örnekleri üzerinden ortalama alınarak raporlanmaktadır.

Tablo 1’de detayları verilen çözümlerin hepsi eniyi sonuçlardır. Diğer bir deyişle, CPLEX tüm problem örnekleri için eniyi gerekirci çözümü bulabilmiştir. İlk ve ikinci satırdaki sonuçlar 20 ürünlü ve 30 ürünlü problem örnekleri üzerinden alınan ortalama değerleri, “Ort.” satırındaki sonuçlar tüm problem örnekleri üzerinden alınan ortalama değerleri göstermektedir. 20 ürün içeren problem örnekleri için bulunan çözümlerin amaç fonksiyon değerlerinin Taş ve diğ. (2019) tarafından rapor edilen alt sınırlara olan uzaklığı %19,03’tür. 30 ürünlü problem örnekleri için bu fark %15,59’dur. Tüm problem örnekleri için elde edilen çözümlere bakıldığında, alt sınıra olan uzaklığın %17,31 olduğu görülmektedir. Alt sınırlara olan bu uzaklıklar göstermektedir ki, stokastik kurulum sürelerinin planlama aşamasında modellemeye dahil edilmemesi, elde edilen çözümlerin stokastik ortamlarda oldukça kötü performans göstermesine sebep olmaktadır. Ayrıca, Tablo 1’deki sonuçlardan görülmektedir ki, beklenen ek mesai süresi 20 ürünlü problem örnekleri için ortalama 121,08 ve 30 ürünlü problem örnekleri için ortalama 145,57 birimdir. Tüm problem örnekleri incelendiğinde, beklenen ek mesai süresinin ortalama 133,33 olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, gerekirci çözümler kurulum sürelerinin stokastik olduğu ortamlarda uygulandığında makina kapasitesi aşılmaktadır. Bu sebeple, makina kapasitesinin aşılmasına izin verilmeyen gerekirci ortamlar için klasik modellerin ürettiği planların olurlu olmadığı sonucuna varılmaktadır.

Tablo 1. Model-SF ile sadece kurulum süreleri stokastik olan PBBP için elde edilen başlangıç çözümlerinin detayları ($\alpha = 0,0625$ ve $\lambda = 16$).

Ürün	TÜ	TK	TE	BMS	TGM	BMM	TM	Süre	ASU (%)
20	35919,07	187,23	21038,73	121,08	60837,21	9941,96	70779,19	86,31	%19,03
30	53995,10	283,27	30161,37	145,57	89945,65	12531,26	102476,91	147,24	%15,59
Ort.	44957,08	235,25	25600,05	133,33	75391,43	11236,61	86628,05	116,77	%17,31

Tablo 2. Tabu arama metodu ile sadece kurulum süreleri stokastik olan PBBP için elde edilen çözümlerinin detayları ($\alpha = 0,0625$ ve $\lambda = 16$).

Ürün	TÜ	TK	TE	BMS	TGM	BMM	TM	Süre	ASU (%)
20	35919,07	176,60	24178,30	15,45	62344,20	1935,06	64279,29	58,39	%3,56
30	53995,10	269,73	34945,87	12,46	91854,65	1683,19	95537,87	98,77	%2,49
Ort.	44957,08	223,17	29562,08	13,96	77099,43	1809,13	78908,58	78,58	%3,03

Tablo 2’de verilen sonuçlar göstermektedir ki başlangıç çözümüne göre tabu arama metodu amaç fonksiyonu değeri (toplam maliyet) üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %9,18’lik ve 30 ürün içeren veri seti için %6,77’lik bir iyileşme sağlamıştır. Amaç fonksiyonu değerine göre tüm problem örnekleri üzerinden ise %8,91’lik bir iyileşme görülmektedir. Başlangıç çözümüyle karşılaştırıldığında, tabu arama metodu ile bulunan çözümlerde envanter sayısı artmış, fakat kurulum sayısı azalmıştır. Daha belirgin olarak, başlangıç çözümüne göre tabu arama metodunun elde ettiği çözümlerde toplam envanter üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %14,92’lik ve 30 ürün içeren veri seti için %15,86’lık bir artış görülmektedir. Toplam envantere göre tüm problem örnekleri

üzerinden ise %15,48'lik bir artış tespit edilmektedir. Envanter sayısındaki artış, kurulum sayısında azalma sağlamıştır. Diğer bir deyişle, başlangıç çözümüne göre toplam kurulum sayısı üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %5,68'lik ve 30 ürün içeren veri seti için %4,78'lik bir azalma görülmektedir. Toplam kurulum sayısına göre tüm problem örnekleri üzerinden ise %5,14'lük bir azalma tespit edilmektedir. Bu azalmanın etkisiyle beklenen ek mesai süresinde ciddi bir azalma olmuştur. Daha belirgin olarak, başlangıç çözümüne göre beklenen ek mesai süresi üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %87,24'lük ve 30 ürün içeren veri seti için %91,44'lük bir iyileşme sağlanmıştır. Beklenen ek mesai süresine göre tüm problem örnekleri üzerinden ise %89,53'lük bir iyileşme görülmektedir. Bu durum da toplam beklenen maliyeti düşürmüştür. Başlangıç çözümüne göre toplam beklenen maliyet üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %80,54'lük ve 30 ürün içeren veri seti için %86,57'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Beklenen toplam maliyete göre tüm problem örnekleri üzerinden ise %83,90'lık bir iyileşme görülmektedir. Ayrıca, çözümler çok kısa süreler içerisinde bulunabilmektedir: 20 ürün içeren veri seti için harcanan ortalama süre 58,39 saniye, 30 ürün içeren veri seti için harcanan ortalama süre 98,77 saniye ve tüm problem örnekleri için harcanan ortalama süre 78,58 saniyedir.

Ek olarak, 20 ürün içeren problem örnekleri için bulunan çözümlerin Taş ve diğ. (2019) tarafından rapor edilen alt sınırlara olan uzaklığı %3,56'dır. 30 ürünlü problem örnekleri için bu değer daha da düşüktür (%2,49). Tüm problem örnekleri için elde edilen çözümlere bakıldığında, alt sınıra olan uzaklığın %3,03 olduğu görülmektedir. Ayrıca, alt sınırların bulunmasını sağlayan prosedür 20 ürünlü problem örneklerini ortalama 1022,72 saniyede, 30 ürünlü problem örneklerini ortalama 941,07 saniyede ve tüm problem örneklerini ortalama 981,89 saniyede çözmektedir (Taş ve diğ., 2019). Diğer bir deyişle, bu makalede önerilen çözüm yöntemi Taş ve diğ. (2019) tarafından rapor edilen süreler baz alındığında 20 ürünlü problem örnekleri için ortalama %94,29, 30 ürünlü problem örnekleri için ortalama %89,50 ve tüm problem örnekleri için ortalama %92,00 iyileşme sağlamaktadır. Bu sonuçlar göstermektedir ki, tabu arama metodu hem bulunan çözümlerin kalitesi hem de harcanan süre açısından oldukça iyi bir performans sergilemektedir.

7.2. Stokastik Üretim ve Kurulum Süreleri İçeren PBBP

Deneylerin ikinci aşamasında, bu makalede tanıtılan problem tabu arama metoduyla çözülmüştür. Başlangıç çözümünün detayları Tablo 3'te verilmektedir. Görüldüğü üzere, bu çözümlerin gerekirci detayları Tablo 1'de verilen çözümlerle aynıdır. Bunun sebebi şu şekildedir: Üretim sürelerinin stokastik olması gerekirci çözümü değiştirmemektedir ve gerekirci PBBP için CPLEX ile elde edilen çözümler iki problem için de geçerlidir. Bir başka deyişle, stokastik kurulum süreleri içeren PBBP için bulunan başlangıç çözümleri, stokastik üretim ve kurulum süreleri içeren PBBP için de başlangıç çözümleri olarak kullanılmıştır ve bu sebeple gerekirci detaylar (çözüm süresi de dahil olmak üzere) her iki tabloda aynıdır. Farklılık, beklenen ek mesai süresi ve beklenen maliyette ortaya çıkmaktadır. Tablo 1'de bulunan çözümler üretim sürelerinin de stokastik olduğu ortamda değerlendirilmişlerdir. Kurulum sürelerine ek olarak üretim sürelerinin de stokastik olması, beklenen ek mesai süresi, beklenen ek mesai maliyeti ve toplam beklenen maliyette artışa sebep olmaktadır.

Tablo 4'te verilen sonuçlar göstermektedir ki başlangıç çözümüne göre tabu arama metodu amaç fonksiyonu değeri (toplam maliyet) üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %25,93'lük ve 30 ürün içeren veri seti için %30,32'lik bir iyileşme sağlamıştır. Amaç fonksiyonu değerine göre tüm problem örnekleri üzerinden ise %28,44'lük bir iyileşme görülmektedir. Başlangıç çözümüyle karşılaştırıldığında, tabu arama metodu ile bulunan çözümlerde envanter sayısı artmış, fakat kurulum sayısı azalmıştır. Daha belirgin olarak, başlangıç çözümüne göre tabu arama metodunun elde ettiği çözümlerde toplam envanter üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %48,19'lük ve 30 ürün içeren veri seti için %43,96'lık bir artış görülmektedir. Toplam envantere göre tüm problem örnekleri üzerinden ise %45,70'lik bir artış tespit edilmektedir. Envanter sayısındaki artış, kurulum sayısında azalma sağlamıştır. Diğer bir deyişle, başlangıç çözümüne göre toplam kurulum sayısı üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %14,05'lik ve 30 ürün içeren veri seti için %11,81'lik bir azalma görülmektedir. Toplam kurulum sayısına göre tüm problem örnekleri üzerinden ise %12,70'lik bir azalma tespit edilmektedir. Bu azalmanın etkisiyle beklenen ek mesai süresinde ciddi bir azalma olmuştur. Daha belirgin olarak, başlangıç çözümüne göre beklenen ek mesai süresi üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %71,15'lik ve 30 ürün içeren veri seti için %83,31'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Beklenen ek mesai süresine göre tüm problem örnekleri üzerinden ise %77,18'lik bir iyileşme görülmektedir. Bu durum da toplam beklenen maliyeti düşürmüştür. Başlangıç çözümüne göre toplam beklenen maliyet üzerinden 20 ürün içeren veri seti için %61,66'lık ve 30 ürün içeren veri seti için %77,83'lük bir iyileşme sağlanmıştır. Beklenen toplam maliyete göre tüm problem örnekleri üzerinden ise %70,43'lük bir iyileşme görülmektedir.

Ayrıca, 20 ürün içeren veri seti için harcanan ortalama süre 63,22 saniye, 30 ürün içeren veri seti için harcanan ortalama süre 115,67 saniye ve tüm problem örnekleri için harcanan ortalama süre 89,44 saniyedir. Bu sonuçlar göstermektedir ki, tabu arama metodu makalede önerilen problem için oldukça kısa sürelerde ve gerekirci modellerin sağladığı çözümlerle kıyaslandığında oldukça yüksek kaliteli sonuçlar elde etmektedir.

Sonuç olarak, hesaplamalı deneyler göstermektedir ki, önerilen çözüm yöntemleri hem sadece kurulum sürelerinin stokastik olduğu problem için (Bölüm 7.1), hem de literatüre bu makalede tanıtılmış olan üretim ve kurulum sürelerinin stokastik olduğu versiyon için kısa sürelerde oldukça iyi (stokastik ortamda iyi performans sergileyen) sonuçlar elde etmektedir.

Tablo 3. Model-SF ile üretim ve kurulum süreleri stokastik olan PBBP için elde edilen başlangıç çözümlerinin detayları ($\alpha = 0,0625$ ve $\lambda = 16$).

Ürün	TÜ	TK	TE	BMS	TGM	BMM	TM	Süre
20	35919,07	187,23	21038,73	624,17	60837,21	61665,27	122502,57	86,31
30	53995,10	283,27	30161,37	730,91	89945,65	73126,70	163072,29	147,24
Ort.	44957,08	235,25	25600,05	677,54	75391,43	67395,98	142787,43	116,77

Tablo 4. Tabu arama metodu ile üretim ve kurulum süreleri stokastik olan PBBP için elde edilen çözümlerin detayları ($\alpha = 0,0625$ ve $\lambda = 16$).

Ürün	TÜ	TK	TE	BMS	TGM	BMM	TM	Süre
20	35919,07	160,93	31179,00	180,09	67103,71	23639,86	90743,58	63,22
30	53995,10	249,83	43420,17	129,29	97414,43	16213,40	113627,82	115,67
Ort.	44957,08	205,38	37299,58	154,59	82259,07	19926,63	102185,70	89,44

8. Sonuçlar

Bu makalede literatüre stokastik üretim ve kurulum süreleri içeren kapasite kısıtlı çok ürünli dinamik parti büyüklüğü belirleme problemi tanıtılmıştır. Bu problemin amacı klasik üretim maliyetleri ve beklenen ek mesai maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti enküçükmektir. Belirli bir üretim ve kurulum planı için beklenen ek mesai süresini kesin olarak hesaplayan bir prosedür geliştirilmiştir. Ayrıca, ele alınan problemi çözmek için üç aşamadan oluşan bir yaklaşım önerilmiştir. İlk aşamada olurlu bir başlangıç çözümü bulunmaktadır. Bu çözüm tabu arama metodu ile iyileştirilmektedir. Belirli iterasyonlarda doğrusal bir matematiksel model kullanılarak toplam maliyet düşürülmektedir. Diğer bir deyişle, üçüncü aşamada planlama yapılmakta, sabit kurulum değişkenlerine göre üretim ve envanter maliyetleri enküçülenmektedir.

Hesaplamalı deneylerin ilk aşamasında sadece kurulum sürelerinin stokastik olduğu problem çözdürülmüştür. Bu problem için elde edilen sonuçların literatürde raporlanan alt sınırlardan ortalama uzaklığı %3,03'tür. Ayrıca, başlangıç adımı olarak alınan gerekirci çözümlere göre toplam maliyet üzerinden ortalama %8,91'lik iyileşme sağlanmıştır. İkinci aşamada hem üretim hem kurulum sürelerinin stokastik olduğu problem ele alınmıştır. Tabu arama metodu gerekirci çözüme göre toplam maliyet üzerinden tüm problem örnekleri için ortalama %28,44'lük bir iyileşme sağlamaktadır. İki problem için de harcanan süreler oldukça kısadır. Diğer bir deyişle, önerilen çözüm yöntemi hem elde edilen çözümlerin kalitesi hem de harcanan süre açısından oldukça iyi bir performans göstermektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda, ele alınan problem kesin yöntemler kullanılarak veya alt sınır değerleri verebilecek bir prosedür geliştirilerek (örneğin, ortalama numune yaklaşımı) çözülebilir. Bir başka çalışma alanı, stokastik sürelerin ele alındığı probleme stokastik taleplerin eklenmesi olarak düşünülebilir.

Kaynakça

- Aloulou, M.A., Dolgui, A. ve Kovalyov, M.Y. (2014) A bibliography of nondeterministic lot-sizing models, *International Journal of Production Research*, 52, 2293-2310. doi: 10.1080/00207543.2013.855336
- Barbarosoğlu, G. ve Özdamar, L. (2000) Analysis of solution space-dependent performance of simulated annealing: the case of the multi-level capacitated lot sizing problem, *Computers and Operations Research*, 27, 895-903. doi: 10.1016/S0305-0548(99)00064-7
- Beraldi, P., Ghiani, G., Guerriero, E. ve Grieco, A. (2006) Scenario-based planning for lot-sizing and scheduling with uncertain processing times, *International Journal of Production Economics*, 101, 140-149. doi: 10.1016/j.ijpe.2005.05.018
- Birge, J.R. ve Louveaux, F. (2011) *Introduction to Stochastic Programming*, Springer Series in Operations Research and Financial Engineering.
- Bitran, G.R. ve Yanesse, H.H. (1982) Computational complexity of the capacitated lot size problem, *Management Science*, 28, 1174-1186. doi: 10.1287/mnsc.28.10.1174
- Bookbinder, J.H. ve Tan, J.Y. (1988) Strategies for the probabilistic lot-sizing problem with service-level constraints, *Management Science*, 34, 1096-1108. doi: 10.1287/mnsc.34.9.1096
- Brahimi, N., Dauzere-Peres, S., Najid ve N.M., Nordli, A. (2006) Single item lot sizing problems, *European Journal of Operational Research*, 168, 1-16. doi: 10.1016/j.ejor.2004.01.054
- Brahimi, N., Absi, N., Dauzère-Pérès, S. ve Nordli, A. (2017) Single-item dynamic lot-sizing problems: An updated survey, *European Journal of Operational Research*, 263, 838-863. doi: 10.1016/j.ejor.2017.05.008
- Brandimarte, P. (2006) Multi-item capacitated lot-sizing with demand uncertainty, *International Journal of Production Research*, 44, 2997-3022. doi: 10.1080/00207540500435116
- Buschkühl, L., Sahling, F., Helber, S. ve Tempelmeier, H. (2010) Dynamic capacitated lot-sizing problems: a classification and review of solution approaches, *OR Spectrum*, 32, 231-261. doi: 10.1007/s00291-008-0150-7
- Dellaert, N.P. ve Melo, M.T. (1998) Make-to-order policies for a stochastic lot sizing problem using overtime, *International Journal of Production Economics*, 56-57, 79-97. doi: 10.1016/S0925-5273(98)00053-X
- Dellaert, N., de Kok, A.G. ve Wei, W. (2000) Push and pull strategies in multistage assembly systems, *Statistica Neerlandica*, 54, 175-189. doi: 10.1111/1467-9574.00135

- Denizel, M. ve Süral, H. (2006) On alternative mixed integer programming formulations and LP-based heuristics for lot-sizing with setup times, *Journal of the Operational Research Society*, 57, 389-399. doi: 10.1057/palgrave.jors.2601996
- Diaby, M., Bahl, H.C., Karwan, M.H. ve Zionts, S. (1992a) Capacitated lot-sizing and scheduling by lagrangean relaxation, *European Journal of Operational Research* 59, 444-458. doi: 10.1016/0377-2217(92)90201-J
- Diaby, M., Bahl, H.C., Karwan, M.H. ve Zionts, S. (1992b) A lagrangean relaxation approach for very-large-scale capacitated lot-sizing, *Management Science*, 38, 1329-1340. doi: 10.1287/mnsc.38.9.1329
- Glover, F. (1989) Tabu search – Part I, *ORSA Journal on Computing*, 1, 190-206. doi: 10.1287/ijoc.1.3.190
- Glover, F. (1990) Tabu search – Part II, *ORSA Journal on Computing*, 2, 4-32. doi: 10.1287/ijoc.2.1.4
- Glover, F. ve Laguna, M. (1997) *Tabu search*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Glover F, Kochenberger GA. *Handbook of metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.
- Gopalakrishnan, M., Ding, K., Bourjolly, J.M. ve Mohan, S. (2001) A tabu-search heuristic for the capacitated lot-sizing problem with set-up carryover, *Management Science*, 47(6), 851-863. doi: 10.1287/mnsc.47.6.851.9813
- Hindi, K.S. (1995) Solving the single-item, capacitated dynamic lot sizing problem with startup and reservation costs by tabu search, *Computers & Industrial Engineering*, 28, 701-707. doi: 10.1016/0360-8352(95)00027-X
- Hindi, K.S. (1996) Solving the CLSP by a tabu search heuristic, *Journal of the Operational Research Society*, 47, 151-161. doi: 10.1057/jors.1996.13
- Hindi, K.S., Fleszar, K. ve Charalambous, C. (2003) An effective heuristic for the CLSP with set-up times, *Journal of the Operational Research Society*, 54, 490-498. doi: 10.1057/palgrave.jors.2601525
- Hung, Y.F., Chen, C.P., Shih C.C. ve Hung M.H. (2003) Using tabu search with ranking candidate list to solve production planning problems with setups, *Computers & Industrial Engineering*, 45, 615-634. doi: 10.1016/j.cie.2003.09.006
- IBM, ILOG CPLEX Optimizer 12.5, <http://www-01.ibm.com/software/integration/optimization/cplex-optimizer>, 2019.
- Jans, R. ve Degraeve, Z. (2004) Improved lower bounds for the capacitated lot sizing problem, *Operations Research Letters*, 32, 185-195. doi: 10.1016/j.orl.2003.06.001
- Jans, R. ve Degraeve, Z. (2007) Meta-heuristics for dynamic lot sizing: a review and comparison of solution approaches, *European Journal of Operational Research*, 177, 1855–1875. doi: 10.1016/j.ejor.2005.12.008
- Jans, R. ve Degraeve, Z. (2008) Modeling industrial lot sizing problems: a review, *International Journal of Production Research*, 46, 1619–1643. doi: 10.1080/00207540600902262
- Jeunet, J. ve Jonard, N. (2000) Measuring the performance of lot-sizing techniques in uncertain environments, *International Journal of Production Economics*, 64, 197-208. doi: 10.1016/S0925-5273(99)00058-4
- Kimms, A. (1996) Competitive methods for multi-level lot sizing and scheduling: tabu search and randomized regrets, *International Journal of Production Research*, 34, 2279-2298. doi: 10.1080/00207549608905025
- Koca, E., Yaman, H., Aktürk, M.S. (2015) Stochastic lot sizing problem with controllable processing times, *Omega*, 53, 1-10. doi: 10.1016/j.omega.2014.11.003
- Krarup, J. ve Bilde, O. (1977) *Plant location, set covering and economic lot sizes: an O(mn) algorithm for structured problems*. Editors: Collatz L, Meinardus G, Wetterling W. Optimierung bei Graphentheoretischen und Ganzzahligen Probleme, Numerische Methoden bei Optimierungsverfahren, Band 3, 155-179, Birkhauser Verlag, Basel.
- Kuhn, H. (1997) A dynamic lot sizing model with exponential machine breakdowns, *European Journal of Operational Research*, 100, 514-536. doi: 10.1016/S0377-2217(96)00136-1
- Kuik, R., Salomon, M., Van Wassenhove, L.N. ve Maes, J. (1993) Linear programming, simulated annealing and tabu search heuristics for lotsizing in bottleneck assembly systems, *IIE Transactions*, 25, 62-72. doi: 10.1080/07408179308964266
- Michalewicz, Z. ve Fogel, D.B. (2002) *How to solve it: modern heuristics*. Springer-Verlag, Berlin.
- Nourelfath, M. (2011) Service level robustness in stochastic production planning under random machine breakdowns, *European Journal of Operational Research*, 212, 81-88. doi: 10.1016/j.ejor.2011.01.032
- Özdamar, L. ve Barbarosoğlu, G. (1999) Hybrid heuristics for the multi-stage capacitated lot sizing and loading problem, *Journal of the Operational Research Society*, 50, 810–825.
- Özdamar, L. ve Birbil, Ş.İ. (1998) Hybrid heuristics for the capacitated lot sizing and loading problem with setup times and overtime decisions, *European Journal of Operational Research*, 110, 525–547. doi: 10.1016/S0377-2217(97)00269-5
- Pochet, Y. ve Wolsey, L.A. (2006) *Production planning by mixed integer programming*. Springer.
- Ribeiro, C. ve Hansen, P. (2001) *Essays and surveys in metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Süral, H., Denizel, M., Van Wassenhove ve L.N. (2009) Lagrangean relaxation based heuristics for lot sizing with setup times, *European Journal of Operational Research*, 194, 51-63. doi: 10.1016/j.ejor.2007.11.052
- Taş, D., Dellaert, N., Van Woensel, T. ve de Kok, T. (2013) Vehicle routing problem with stochastic travel times including soft time windows and service costs, *Computers & Operations Research*, 40, 214-224. doi: 10.1016/j.cor.2012.06.008

Taş, D., Gendreau, M., Jabali, O. ve Jans, R. (2019) A capacitated lot sizing problem with stochastic setup times and overtime, *European Journal of Operational Research*, 273(1), 146–159. doi: 10.1016/j.ejor.2018.07.032

Tempelmeier, H. (2013) *Stochastic lot sizing problems*. Editors: Smith JM, Tan B. Handbook of stochastic models and analysis of manufacturing system operations, International Series in Operations Research & Management Science, Volume 192, 313–344, New York, Springer.

Trigeiro, W., Thomas, L. ve McClain, J. (1989) Capacitated lot sizing with setup times, *Management Science*, 35, 353–366. doi: 10.1287/mnsc.35.3.353



Uludağ (Bursa)'da Doğal Yayılış Gösteren *Scilla bifolia* L.'nin Bazı Morfolojik ve Fenolojik Özellikleri ile Yetiştirme Yerine Ait Gözlemler

Seydi Ahmet Kavaklı¹, Ayşe Gül Sarıkaya^{1*}

¹ Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Müh. Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID*: 0000-0002-0641-4445)

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 18 Haziran 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.574256)

ATIF/REFERENCE: Kavaklı, S.A., & Sarıkaya, A.G.. (2019). Uludağ (Bursa)'da Doğal Yayılış Gösteren *Scilla bifolia* L.'nin Bazı Morfolojik ve Fenolojik Özellikleri ile Yetiştirme Yerine Ait Gözlemler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 454-459.

Öz

Birçok türü süs bitkisi olarak yetiştirilirken, gıda maddesi veya tıbbi olarak kullanılan türleri de bulunan Liliaceae familyasının, İç Batı, Batı ve Güney Anadolu'da bulunan, soğanlı çok yıllık otsu bir türü olan *Scilla bifolia* L. araştırma materyalini oluşturmaktadır. Uludağ (Bursa)'a yapılan keşif gezileri sonunda *Scilla bifolia* L.'nin bulunduğu noktalardan 15 adet örnek alan seçilmiş ve koordinatları alınmıştır. Türün çalışma sahasındaki morfolojik özelliklerini tespit etmek için her alandan 30'ar bitki örneği ve yumru toplanmıştır. Toplanan örneklerin dijital çap ölçer ile boyu, çiçek sayısı, çiçek sap uzunluğu, yaprak eni ve boyu, yaprak sayısı ve yumru eni ve boyu ölçülmüştür. Ayrıca toplanan yumruların ağırlığı dijital terazi ile ölçülmüştür. Türün çalışma alanındaki fenolojik zamanının tespiti için Mart ayı itibarıyla arazi çalışmaları ile takibe alınmıştır. Yetiştirme yerinin topoğrafik, toprak, iklim, bitki örtüsü, rakım gibi bazı özelliklerine ait gözlemler yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda ortalama bitki boyu 167,30 mm, çiçek sap uzunluğu 12,63 mm, çiçek sayısı 5,73 adet, yaprak boyu 124,49 mm, yaprak eni 8,95 mm, yaprak sayısı 2,13 adet, yumru ağırlığı 0,86 gr, yumru boyu 13,30 mm ve yumru eni 10,43 mm olarak bulunmuştur. Fenolojik zamanına bakıldığında nisan-temmuz ayları arasında çiçeklenmenin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Scilla bifolia* L., Morfolojik özellikler, Fenolojik özellikler, Uludağ (Bursa)

Observations on Some Morphological and Phenological Features and Growing Area of *Scilla bifolia* L. Natural Distributed in Uludağ (Bursa)

Abstract

While many species are grown as ornamental plants, the Liliaceae family, which contains foodstuffs or medically used species, is the research material of *Scilla bifolia* L., an herbaceous perennial herbaceous plant found in the Central West, West and South Anatolia. At the end of the discovery trips to Uludağ (Bursa), 15 sample areas were selected and coordinates were taken from the points where *Scilla bifolia* L. was found. In order to determine the morphological characteristics of some of the determined areas, plant samples were collected, 30 plant height, number of flowers, flower stem length, leaf width and length, number of leaves and tuber width and length were measured with digital diameter gauge. In addition, the weight of 30 tuber was measured by digital scale to determine the weight of the tuber. For the determination of the phenological time, as of March, it was followed by field studies. Observations were made on some characteristics such as topographic, soil, climate, vegetation, altitude. As a result of measurements, the average plant height was 167,30 mm, the length of the flower stem was 12,63 mm, the number of flowers was 5,73; the leaf length was 124,49 mm,

* Sorumlu Yazar: Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Müh. Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0641-4445, aysegulsarikaya86@gmail.com

the leaf width was 8,95 mm., 86 g, 13.30 mm of tuber and 10.43 mm of tubers. Phenological time between April and July when the flowering is determined.

Keywords: *Scilla bifolia* L., Morphological features, Phenological characteristics, Uludağ (Bursa)

1. Giriş

Birçok türü süs bitkisi olarak yetiştirilirken, gıda maddesi veya tıbbi olarak kullanılan türleri de bulunan Liliaceae familyası, dünyada yaklaşık 250 cins ve bu cinslere ait 3500 kadar tür ile temsil edilmektedir. Türkiye’de 35 cinsle ait 400 kadar türü bulunmaktadır (Seçmen vd. 1998). Liliaceae familyasına ait türler genellikle çok yıllık otsu olarak nadiren de odunsu çalılar olup, gövdeleri dik ve tırmanıcı, yaprakları linearlansolat, kaidede ya da gövdede alternat dizilişli, çiçek durumu rasemoz, tek veya kimoze şeklinde, periant 2 dairede serbest veya birleşik 6 parçalı, parçaları birbirine benzer ve gösterişli, korona var ya da yoktur. Ovaryum alt veya orta durumlu, 3 lokuluslu ve karpelli, tohum taslakları çok sayıdadır (Seçmen vd.2004). Kozmopolit bir familya olan Liliaceae çoğunlukla tropikal ve ılıman bölgelerde doğal yayılış göstermektedir (Seçmen vd. 1998). *Lilium*, *Allium*, *Ornithogalum*, *Scilla*, *Colchicum*, *Tulipa*, *Narcissus* ve *Fritillaria* gibi birçok cinsi içermektedir.

Scilla L. cinsinin, ülkemizde 19 taksonu bulunmaktadır (Güner, 2012). İç Batı, Batı ve Güney Anadolu’da bulunan, soğanlı çok yıllık otsu bir bitki olan *Scilla bifolia* L. araştırma materyalini oluşturmaktadır. *Scilla bifolia* L. Türkçe’de orman sümbülü, iki yapraklı sümbül, alp ada soğanı ve kampana çiçeği olarak adlandırılmaktadır (Güner, 2012; Özhatay vd., 2012; Karaca, 2008; Kaynak vd., 2008). Bu çalışmanın amacı Uludağ (Bursa)’da doğal yayılış gösteren *Scilla bifolia* L.’nin bazı morfolojik ve fenolojik özelliklerini tespit etmek ve yayılış alanı özelliklerine ait gözlemleri ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Metot

Uludağ (Bursa)’da doğal yayılış gösteren *Scilla bifolia* L. araştırma materyalini oluşturmaktadır. 2018-2019 vejetasyon dönemi içerisinde, Uludağ (Bursa)’a yapılan keşif gezileri sonunda tespit edilen *Scilla bifolia* L.’nin bulunduğu noktaların Garmin GPS Map 64 S ile koordinatları alınmış daha sonra bu alanlar içerisinde örnek sahalının alınacağı yerler belirlenmiştir. Örnek alanların seçiminde türün alanda hakim tür olmasına, türe ait bireylerin belli bir olgunluğa gelmiş olmasına, sağlıklı olmasına, farklı yetiştirme ortamlarını temsil etmesine ve insan etkisinden olabildiğince uzak olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra 20 x 20 m boyutlarında farklı 15 örnek alanlar alınmış ve koordinatları kaydedilmiştir (Şekil 1), (Tablo 1). Belirlenen alanlardan bir kısmı morfolojik özelliklerini tespit etmek amacıyla kullanılmak üzere ve diğer kısmı herbaryumda saklanmak üzere bitki örnekleri toplanmıştır. Morfolojik ölçümlerini hesaplamak için dijital çap ölçer ile 30’ar adet bitki boyu, çiçek sayısı, çiçek sap uzunluğu, yaprak eni ve boyu, yaprak sayısı ve yumru eni ve boyu ölçülmüştür. Ayrıca yumru ağırlığını belirlemek için 30 adet yumrunun ağırlığı dijital terazi ile ölçülmüştür. Fenolojik zamanının tespiti için Mart ayı itibariyle arazi çalışmalarına başlanmıştır. Bitki takibe alınarak çiçeklenme zamanı saptanmıştır. Yetiştirme yerinin topoğrafik, toprak, iklim, bitki örtüsü, rakım gibi bazı özelliklerine ait gözlemler yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma sahası içindeki belirlenen örnek alanlar

Tablo 1. Çalışma sahası içindeki belirlenen örnek alanların koordinatları

Örnek Alan No	Örnek Alanların Koordinatları
1.	40°06.860' K, 29°04.809' D
2.	40°07.049' K, 29°05.146' D
3.	40°06.827' K, 29°05.440' D
4.	40°07.175' K, 29°05.657' D
5.	40°06.644' K, 29°06.226' D
6.	40°06.674' K, 29°06.277' D
7.	40°06.555' K, 29°06.376' D
8.	40°06.888' K, 29°06.643' D
9.	40°07.137' K, 29°06.525' D
10.	40°07.914' K, 29°06.665' D
11.	40°07.858' K, 29°07.126' D
12.	40°07.245' K, 29°07.051' D
13.	40°06.830' K, 29°06.985' D
14.	40°06.516' K, 29°07.106' D
15.	40°06.292' K, 29°07.370' D

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uludağ (Bursa)'da doğal yayılış gösteren *Scilla bifolia* L.'nin bazı morfolojik ve fenolojik özellikleri tespit edilmiştir. Morfolojik ölçümlerini hesaplamak için dijital çap ölçer ile 30'ar adet bitki boyu, çiçek sayısı, çiçek sap uzunluğu, yaprak eni ve boyu, yaprak sayısı ve yumru eni ve boyu ölçülmüştür. Ortalama bitki boyu 167,30 mm, çiçek sap uzunluğu 12,63 mm, çiçek sayısı 5,73 adet, yaprak boyu 124,49 mm, yaprak eni 8,95 mm, yaprak sayısı 2,13 adet, yumru ağırlığı 0,86 gr, yumru boyu 13,30 mm ve yumru eni 10,43 mm olarak bulunmuştur (Şekil 2), (Tablo 2).



Şekil 2. *Scilla bifolia* L.'nin bazı morfolojik ölçümlerine ait görüntüler (a: Bitki boyu, b: Çiçek sap uzunluğu, c: Yaprak boyu, d: Soğan boyu, e: Soğan eni, f: Soğan ağırlığı)

Tablo 2. *Scilla bifolia*'nın morfolojik ölçüm değerleri

	Min.-Mak.	Ortalama
Bitki Boyu	107,65-234,08 mm	167,30 mm
Çiçek Sap Uzunluğu	5,09-37,54 mm	12,63 mm
Çiçek Sayısı	2-14 adet	5,73 adet
Yaprak Eni	4,92-14,14 mm	8,95 mm
Yaprak Boyu	92,98-195,29 mm	124,49 mm
Yaprak Sayısı	1(-2)-7 adet	2,13 adet
Soğan Eni	6,92-15,36 mm	10,43 mm
Soğan Boyu	9,68-16,50 mm	13,30 mm
Soğan Ağırlığı	0,34-2,5 gr	0,86 gr

Fenolojik zamanına bakıldığında ilk çiçeklenmenin nisan başı başladığı, mayıs-haziran aylarında tam çiçeklenmenin görüldüğü ve temmuz ayının sonlarında çiçeklenmenin sona erdiği gözlemlenmiştir. Çiçek renginin mor, mavimsi-mor ve leylak-mavi renklere olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. *Scilla bifolia* L.'nin genel görünümü ve çiçekleri

Yetiştirme yeri özelliklerine bakıldığında 1400-1710 m rakımlar arasında, göknar, kayın ve çam orman altlarının açıklıklarında, çayır alanlar, kayalık taşlık yamaçlar, orman sınırının bittiği yol kenarı açıklıklarında ve üst rakımlarda karın eridiği eğimli ve düz alanlarda yayılış gösterdiği tespit edilmiştir. Uludağ'ın Akdeniz ve ılıman iklimin etkisinde olduğu alanların yanı sıra üst rakımlara doğru daha yağışlı ve soğuk iklim özelliklerinde de yetiştiği görülmüştür. Türün yetiştirme yerlerinde kırmızı sarı podzolik topraklar-kahverengi orman toprakları, yüksek dağ çayır toprakları ve organik toprakları tercih ettiği gözlemlenmiştir. Uludağ (Bursa)'da doğal yayılış gösteren *Scilla bifolia* L.'nin bazı morfolojik ve fenolojik özellikleri tespit edilmiş ve bu konuda yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır (Tablo 3 ve Tablo 4).

Tablo 3. *Scilla bifolia*'nın morfolojik ölçümlerinin yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

	Çalışmada Min.-Mak.	TR Florası	Kaynak vd., 2008	Özdemir ve Alçitepe, 2010	Özhatay vd., 2012
Bitki Boyu	107,65-234,08 mm	-	-	-	-
Çiçek Sap Uzunluğu	5,09-37,54 mm	Min. 50 mm	5-37 cm	6-40 cm	-
Çiçek Sayısı	2-14 adet	1-15(-25) adet	1-25 adet	1-5 adet	-
Yaprak Eni	4,92-14,14 mm	(1,5)3-5 mm	-	1,5-9 mm	-
Yaprak Boyu	92,98-195,29 mm	(4)7-19(-35) cm	4-35 cm	2,5-16 cm	-
Yaprak Sayısı	1(-2)-7 adet	1(-2)-7 adet	1-7 adet	2(-1) adet	-
Soğan Eni	6,92-15,36 mm	0,5-2 cm	2-3 mm	2,5 cm	0,5-2 cm
Soğan Boyu	9,68-16,50 mm	-	-	-	-
Soğan Ağırlığı	0,34-2,5 gr	-	-	-	-

Scilla bifolia'nın morfolojik ölçümlerinin yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında, çalışmamızdan farklılık gösterdiği ve sadece yaprak sayısı adetlerinin bezer olduğu tespit edilmiştir. Farklılığın sebeplerinin yayılış alanlarının, ikliminin, toprak özelliklerinin, topoğrafik yapısının ve rakımının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4. *Scilla bifolia*'nın fenolojik özelliklerinin yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

Aylar	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
Çalışmalar							
Çalışmada			X	X	X	X	
Andiç, 1985						X	X
Altınçekiç, 1996	X	X	X	X	X		
Karaca, 2008		X	X	X	X		
Kaynak vd., 2008	X	X	X	X	X	X	
Özhatay vd., 2012	X	X	X	X	X	X	
Kılıçaslan ve Dönmez, 2016	X	X	X				

Scilla bifolia'nın fenolojik özelliklerinin yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında, Altınçekiç (1996); Kaynak vd.(2008); Özhatay vd. (2012) çalışmalarıyla nisan, mayıs haziran ve temmuz ayları ile benzerlik gösterdiği, Karaca (2008) ile nisan, mayıs ve haziran aylarının, Andiç (1985) ile temmuz ayının ve Kılıçaslan ve Dönmez (2016) ile nisan ayının benzer olduğu tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışma ile Uludağ (Bursa)'da doğal yayılış gösteren *Scilla bifolia* L.'nin bazı morfolojik ve fenolojik özelliklerini tespit etmek ve yayılış alanı özelliklerine ait gözlemleri ortaya konmuştur. Soğanlı bitkiler, ekonomik, ekolojik, estetik, tıbbi ve aromatik açıdan önem taşımaktadır. Çiçeklenme zamanının belirtilmesi ile toplama zamanının bilinmesi, özellikle peyzaj çalışmalarında kullanımı ve arıcılıkta değerlendirilmesi açısından kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca *Scilla bifolia*'nın tıbbi ve aromatik önemini ortaya konması için kapsamlı çalışmaların yapılması tavsiye edilmektedir. Özellikle ilaç ve gıda endüstrisi açısından etken maddelerin elde edilmesi ile ilaç yapımında yada gıdalarda koruyucu olarak yada renklendirici olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Altınçekiç, H., 1996. Çilingöz Koyu (Trakya) Peyzaj Planlaması Amacına Yönelik Bitki Materyalinin Saptanması. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. İstanbul.
- Andiç, C 1985. Erzurum yöresi doğal çayır mera ve yayla vejetasyonlarında mevcut bitki türleri, bunların hayat formları ve çiçeklenme periyotları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16: 85-104.
- Güner, A., 2012. Türkiye Bitkileri Listesi, Damarlı Bitkiler. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları, 1290 s, İstanbul.
- Karaca, A., 2008. Aydın Yöresinde Bal Arılarının (Apis Mellifera L.) Yararlanabileceği Bitkiler ve Bazı Özellikleri. ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(2):39-66.
- Kaynak, G., Daşkın R., Yılmaz, Ö., 2008. Bursa Bitkileri. Uludağ Üniversitesi Yayınları, 865 s.
- Kılıçaslan, N., Dönmez, Ş., 2016. Göller bölgesinde doğal olarak yetişen soğanlı bitkilerin peyzaj mimarlığında kullanımı. Türkiye Ormancılık Dergisi, 17(1): 73-82.
- Özdemir, C., Alçıtepe, E., 2010. *Scilla bifolia* L. (Liliaceae) Üzerinde Morfolojik ve Anatomik Bir İnceleme. Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi, 11 (2): 126-129.
- Özhatay, N., Koçyiğit, M., Bona, M., 2012. İstanbul'un Ballı Bitkileri. 264 s.
- Seçmen, Ö., Gemici, Y., Görk, G., Bekat, L., Leblebici, E., 1998. "Tohumlu Bitkiler Sistematiği", Ege Üniv. Fen Fak. Kitaplar Serisi, İzmir, 110 s.
- Seçmen, Ö., Gemici, Y., Görk, G., Bekat, L., Leblebici, E., 2004. "Tohumlu Bitkiler Sistematiği", Ege Üniv. Fen Fak. Kitaplar Serisi, İzmir, 116 s.
- Tan, A., 1992. Türkiye'de Bitkisel Çeşitlilik ve Bitki Genetik Kaynakları (Plant Diversity and Plant Genetic Resources in Turkey), Anadolu, 2 (199); 50-64.



Performance Evaluation of A High Geomembrane Faced Rockfill Dam In Case of Liner Rupture and Earthquake Risks

Murat Kilit^{1*}, Uğur Şafak Çavuş²,

¹ Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Afyon, Turkey (ORCID: 0000-0002-1912-6151)

² Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, Isparta, Turkey (ORCID: 0000-0003-4804-8735)

(First received 4 April 2019 and in final form 20 June 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.549123)

ATIF/REFERENCE: Kilit, M., & Çavuş, U. Ş.. (2019). Performance Evaluation of A High Geomembrane Faced Rockfill Dam In Case of Liner Rupture and Earthquake Risks. *European Journal of Science and Technology*, (16), 460-470.

Abstract

This paper presents stability and seepage evaluation of a high rockfill dam with a geomembrane seepage barrier by considering scenarios of a possible occurrence of a large earthquake due to the active faults in the region and also a seepage flow in the dam due to a possible rupture of the geomembrane liner. For this purpose, finite element transient seepage and pseudo static slope stability analyses were both carried out together to assess the critical potential failure surfaces and safety factors of the rockfill slopes. Therefore, pore water pressures on the failure surfaces were first calculated using the time varying (transient) numerical seepage analyses method which is essentially important to determine the time dependent variations of seepage paths and water pressures within the rockfill as well. In the analyses, it was determined that the most critical slope failure case is when a geomembrane liner tears at the time of the highest reservoir water elevation since the hydraulic head is maximum and causes the largest seepage pressure in the rockfill there. Analyses showed that if a strong earthquake struck the region, both the upstream and downstream slopes are safe with sufficiently high safety factors. In addition, in case of a possible tear and leakage on the geomembrane liner, the dam will also withstand well with 2.25 horizontal to 1 vertical slopes. However, it is recommended that constructing a downstream toe drain or a relief well will provide an additional safety measure against any heave occurrence or instability of the rockfill since the embankment and bedrock foundation are pervious causing high seepage pressures at the downstream toe of the dam.

Key words: Rockfill Dam, Geomembrane Liner, Slope Stability, Transient Flow, Seepage Analyses

Ön Yüzü Geomembran Kaplı Yüksek Bir Kaya Dolgu Barajın Deprem ve Geomembranda Yırtık Olması Durumunda Performansının Değerlendirilmesi

ÖZ

Bu makale sızmaya karşı ön yüzü geomembran ile kaplı yüksek bir kaya dolgu barajın deprem olması veya geomembran kaplamada olası bir yırtık olması nedeniyle baraj gövdesinde sızma oluşması durumlarına karşılık stabilite ve sızma analizlerine dayalı barajın performansını ve güvenliğini değerlendirmektedir. Bu nedenle, sonlu elemanlar zamana bağlı değişen sızma analizi ve şev stabilite analizi baraj gövdesindeki kritik kayma yüzeylerini ve güvenlik değerlerini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. İlk olarak baraj gövdesindeki suyun sızma yolları ve kayma yüzeylerine etki eden boşluk suyu basınçları zamanla değişen akım hali için numerik sızma analizleri yapılarak belirlenmiştir. Şev stabilitesi açısından kritik durumun, geomembrandaki yırtığın rezervuar tamamen dolu

¹ Corresponding Author: Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Afyon, Turkey, ORCID: 0000-0002-1912-6151, mkilit@aku.edu.tr

halde iken nss seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Çünkü bu durumda, baraj gövdesinde hidrolik su yüksekliği ve buna bağlı kaya dolguda su sızma basınçları maksimum olmaktadır. Analiz sonuçları göstermiştir ki eğer barajın bulunduğu bölgeye kuvvetli bir deprem etkirse, barajın memba ve mansap şevleri, yüksek güvenlik faktörleri ile kaymaya karşı yeterince güvenli bulunmaktadır. Ayrıca, eğer geomembrane kaplamada bir hasar neticesinde yırtık olursa, barajın mansap şevi 2.25 yatay 1 düşey eğimiyle yine yeterince stabil olacağı görülmüştür. Fakat hem kaya dolgu hem de baraj gövdesi altındaki kayaç geçirimli olduğundan, geomembranda bir sızma olursa barajın temelinden sızan suların basıncının söndürülmesi ve güvenle barajın topuğundan uzaklaştırılması amacıyla baraj mansap topuğunda dren veya basınç söndürücü bir kuyu tasarlanması tavsiye edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kaya Dolgu Baraj, Geomembrane Kaplama, Şev Stabilitesi, Zamanla Değişen Akım, Sızma Analizi

*Sorumlu Yazar: Murat KİLİT Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü, Afyonkarahisar Türkiye , ORCID: 0000-0002-1912-6151, mkilit@gmail.com

1. Introduction

Recently, geomembrane liners have been increasingly used as seepage barriers for embankment dams at sites where sufficient amount of good quality impervious clay material is not available in economical distances. Koerner and Wilkes, [1] stated that 183 earth or rockfill dams incorporating geomembranes are available in the world. Most of those dams are small dams and located on beyond the rich of highly populated areas [2].

Constructed geomembrane lined embankment dams are mostly sandy or gravel fill and their heights are usually low (less than 15 meter) with low reservoir capacities ($H^2 \times \sqrt{V} < 200$ wherein H dam height in meter and V is storage volume in million m³ [3]. However, high geomembrane faced earthfill and/or rockfill dams with large reservoir capacities have been rarely constructed on the earth. In addition, design principles of those high embankment dams with geomembrane seepage barriers vary from site to site depending on project characteristics. Since there is always a possibility of defects on the geomembrane liner, engineers usually hesitate using a geomembrane liner as a seepage barrier on high embankment dams with large reservoirs. Since, if a geomembrane liner ruptures, then high seepage forces and internal erosion in the embankment or in its foundation may occur and then slopes of the dam may face with a failure.

Bhowmiki R. et al [4], presented failure analysis of a 8 meter high geomembrane lined reservoir embankment wherein seepage and slope stability analyses were both carried out to detect the causes of failure of the dam. Poulain et al [5], studied also geomembrane lining systems of small reservoirs. Mendoza et al [6], developed some safety factor monograms for small homogeneous embankment dams with low heights and geomembrane liners. In addition to those, Tolooiyana et al [7], analyzed rapid drawdown condition of a channel embankment reinforced by a nonwoven geotextile. Moreover, Briancon et al [8], studied friction at geosynthetic interfaces for different hydraulic conditions and developed equations to calculate friction angle between geotextile and geomembrane.

So, the present paper first of all provides an additional case, a high geomembrane faced rockfill dam where a geomembrane liner was used both to cover the reservoir area and the upstream slope to prevent seepage. This dam is called Yıprak located on pervious bedrock conditions. This study further evaluates safety of the dam if any tear occurs on the geomembrane liner when reservoir water is full. Transient 2-D finite element seepage analyses and slope safety analyses were both carried out together to determine slope safety of the dam for dynamic (earthquake) conditions. Analyses also provided timely variations of seepage pressures and slope safety factors in the dam structure. So, transient seepage analyses showed that the lowest slope safety factors are not always the final seepage stage wherein seepage reaches its steady state. In other words, factor of safety of the slopes may become lowest by time before reaching the final step of the transient analyses.

2. Material and Method

2.1. Design Features of the Dam

Yıprak dam located on 48 km far away Dinar province of Afyonkarahisar city in Turkey is an irrigation purposed high rockfill dam with large reservoir capacity see Fig.1[9]. Storage capacity is 875000 m³ and maximum height of the dam is 31.5 m. Maximum cross section in the riverbed is also given in Fig.2. Since the bedrock is pervious in the reservoir site and also impervious clay core material is not available in the site, a geomembrane seepage barrier HDPE geomembrane liner overlain with a thin sand bedding layer on the rockfill was used to cover the upstream slope of the rockfill and pervious bedrocks see Fig.1[9].



Fig.1. Google earth view showing Yiprak dam (Google Earth view).[9]

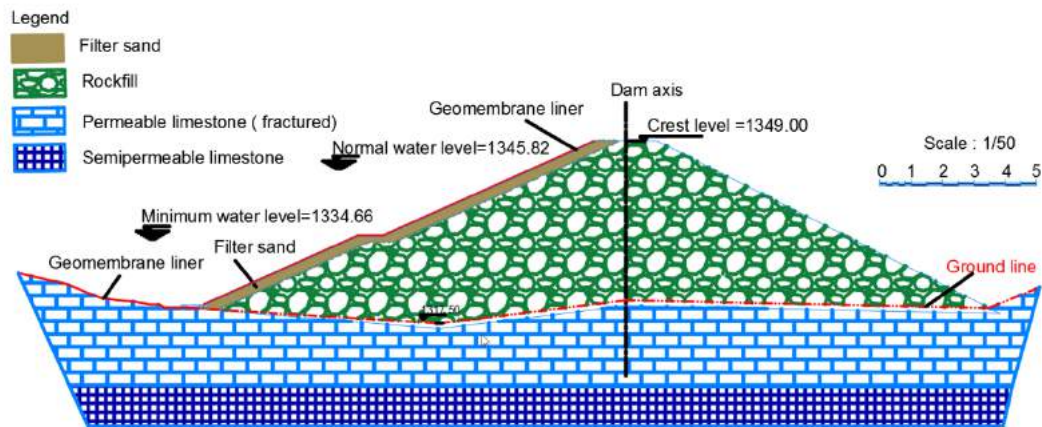


Fig. 2. Maximum dam cross section and bedrock foundation

Structural geology of the dam site is composed of permeable limestone, conglomerate, tuff, consolidated clay and weathered marl with cracks due to tectonic movements. Strata of the rocks are almost horizontal. Mean RQD (rock quality designation) is evaluated as 58. Foundation alluvium beneath the dam is completely excavated. Cohesion and internal friction angle of the bedrock were estimated for the slope stability analyses from the literature by experience and evaluating site conditions such as RQD values, beddings and discontinuity situations etc [10,11]. Permeability of the bedrock was estimated according to the lugeon test results (wherein site lugeon value is mostly larger than 25 indicating the bedrock is highly permeable). Because the bedrock of reservoir and rockfill dam is pervious, both reservoir area and the embankment upstream face were decided to be covered by a geomembrane liner to prevent seepage flow (Fig. 3).

Two active faults close to the Yiprak dam site are available in the region. One is called Tatarlı fault almost 10 km far away the location of the dam. The other is called Dinar fault almost 35 km far away the dam axis (Fig. 4)[12]. The maximum design earthquake (MDE) was selected equal to the Maximum credible earthquake (MCE) which is defined as an upper bound of an expected magnitude ($M_w=6,1$) for the site. An earthquake of such magnitude could produce 0.21g peak ground acceleration at the dam site calculated by using the attenuation curves produced by Gülkan and Kalkan [13] for Tatarlı fault which is just 10 km far away the dam site.



Fig. 3. A view showing reservoir lining for pervious bedrock

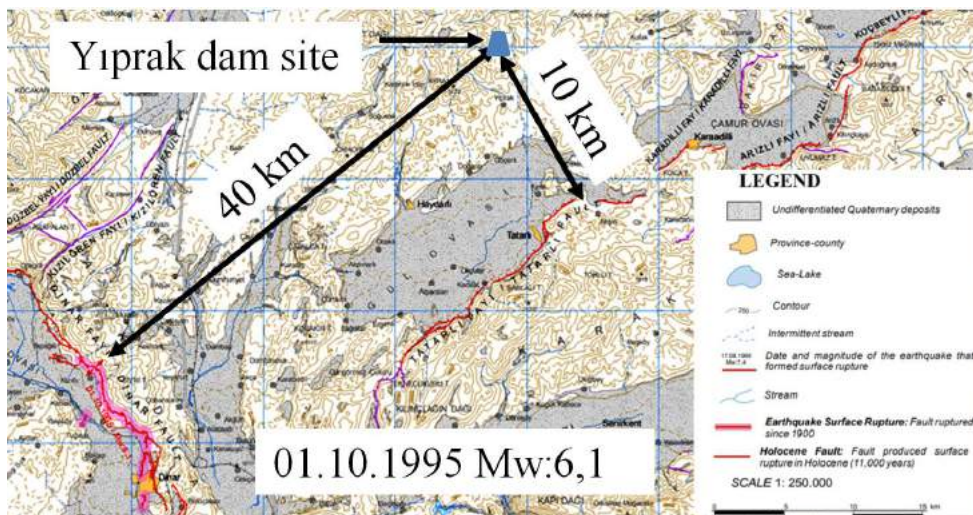


Fig. 4. Active fault map of Yıprak town [12]

3.Results

3.1. Numerical Seepage And Slope Stability Analyses

Defects and tear of geomembrane liners is possible [4]. In case of any tear, there are some available studies in the literature for calculating leakage rates of geomembrane liner systems [14,15,16,17,18,19,20]. Some empirical equations were developed in these studies to determine flow rates based upon laboratory tests for different dimensions of geomembrane defects such as from 2mm to 600 mm.

Weber [21] studied leakage through defects in geomembrane liners under high hydraulic heads. In this study, Weber [21] conducted leakage tests for the geomembrane overlain sand layer and concluded that leakage rates increased with increasing hydraulic heads. In addition, the density of the soil layer beneath the geomembrane affects the leakage rate, and soil layers with low density yield higher leakage rates than soil layers with higher densities, even under low heads. , Weber and Zornberg [22] also numerically analyzed leakage through geomembrane lining systems for dams. However, they only simulated an earth dam rather than a rockfill dam which is presented in this study.

Yıprak dam slopes under geomembrane is 2.25H:1V. Therefore, in order to understand the state of future safety of the predetermined slopes of the Yıprak dam if a tear on the geomembrane liner occurs in different elevations of the reservoir, finite element transient seepage analyses were first performed using software SLIDE [23]. Then, the seepage paths, water pressures in the

embankment and amount of seepage at the downstream toe of the rockfill were calculated. Embankment water pressures due to the rupture of the geomembrane were used in the stability calculations of the slopes of the rockfill dam.

In addition, for the case that the maximum credible earthquake hits the region, existing upstream and downstream slope safety of the dam were also checked for partial (minimum water level) and full storage levels. In this case, bedrock acceleration, MCE of 0.21g was also used as an average horizontal acceleration coefficient for sliding surfaces in limit equilibrium slope stability calculations. The geometry of the section analyzed is seen in Fig. 3. Embankment and bedrock material properties as well as constitutive models used in the analyses are given in Table 2. Yiprak rockfill strength parameters was determined using the relationships developed by [24,25,26]. Since small scale laboratory tests do not always represent well field rockfill properties and conducting large scale rockfill shear tests for each dam project is not practical, shear strength properties of rockfill embankments are usually determined depending on past available data set obtained from different projects, site rockfill construction specifications (such as layer compaction thickness, d_{50} particle size, density, porosity and roughness of the particles). For rockfill, cohesion is zero. However, drained internal friction angle usually varies from 35° to 55° depending on the confining pressure, particle size (d_{50}), particle breakage, gradation, roughness and porosity of the particles [24,25,26].

Barton and Kjærnsli [25], also developed an Equation (Eqn 2) to calculate drained internal friction angle of rockfill. Permeability value of geomembrane liner was taken 10^{-14} cm/s based on reported values in literature [4].

$$\phi' = R \log \left(\frac{S}{\sigma'_n} \right) + \phi_b \tag{2}$$

where R : the porosity, σ'_n : vertical effective total rockfill stress , ϕ_b : basic rockfill friction angle , S: equivalent strength.

Table 2. Yiprak embankment and bedrock material properties.

Material property	Geomembrane	Sandy filter	Rockfill	Bedrock	Sub-bedrock
c (kN/m ²)	-	0	0	0	0
ϕ' (degree)	-	38	40	45	52
γ (kN/m ³)	-	19	21	25	25
K (cm/s)	10^{-14}	10^{-3}	10^{-2}	5×10^{-3}	10^{-4}

Slope stability analyses were performed using software SLIDE [23]. The factor of safety of the slopes were calculated by widely used Bishop limit equilibrium method described in Eurocode 7 [27] by using Equation 3. Calculated safety factors of upstream and downstream slopes along with transient seepage analyses for all three different scenarios are briefly given in Table 3. Case 1 in Table 3 represents full storage condition along with earthquake effect. Case 2 represents partial (minimum water level) storage with earthquake acceleration. Case 3 is a seepage case due to a tear occurrence of geomembrane liner when reservoir is its maximum level. Figures 5, 6 and 7 corresponds to the Cases 1 and 2. [28]

$$FS = \frac{\sum \left[(c.l + W.tan\phi) \left\{ \cos\alpha + \frac{\sin\alpha.tan\phi}{FS} \right\} \right]}{\sum W.\sin\alpha} \tag{3}$$

where, W: Weight of each slice, l: Length of the failure surface of the slice, ϕ : Internal friction angle of the material, c: Cohesion of the material, α : Angle of the slice with horizontal and FS: Factor of safety.

Table 3. Stability conditions

Cases	Upstream slope safety (FS)	Downstream slope safety (FS)	
1	3.326	1.301	
2	2.207	1.301	
	Time (Days)	Downstream slope safety (FS)	Discharge (m ³ /day)
3	200	1.827	0.001025
	500	1.435	240.89
	1000	1.388	240.28
	2500	1.385	242.32

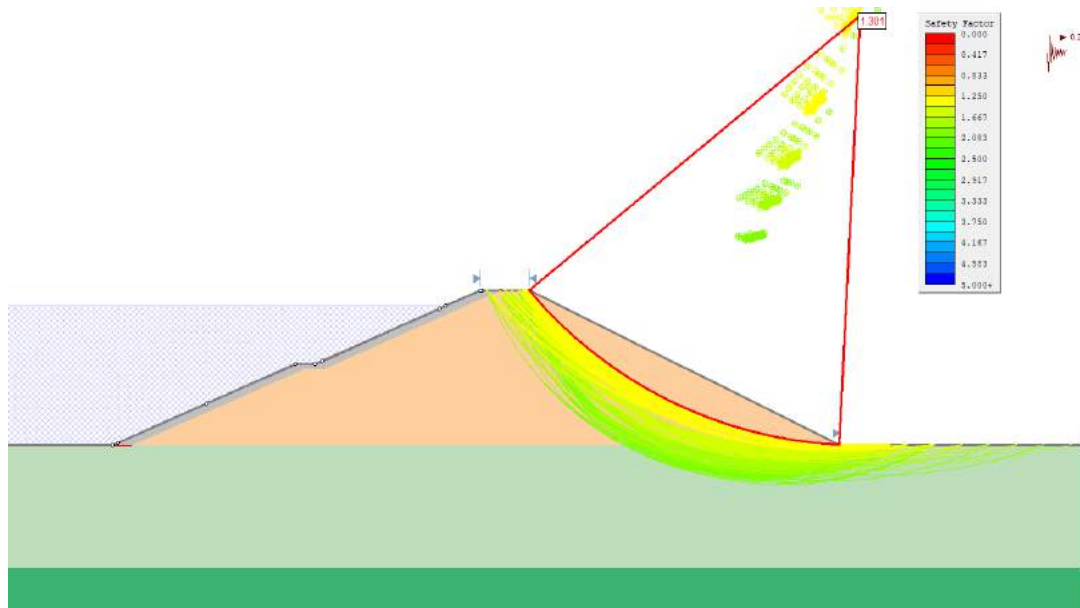


Fig. 5. Downstream slope safety factors of sliding surfaces for full and partial storage cases with 0.21g acceleration coefficient.

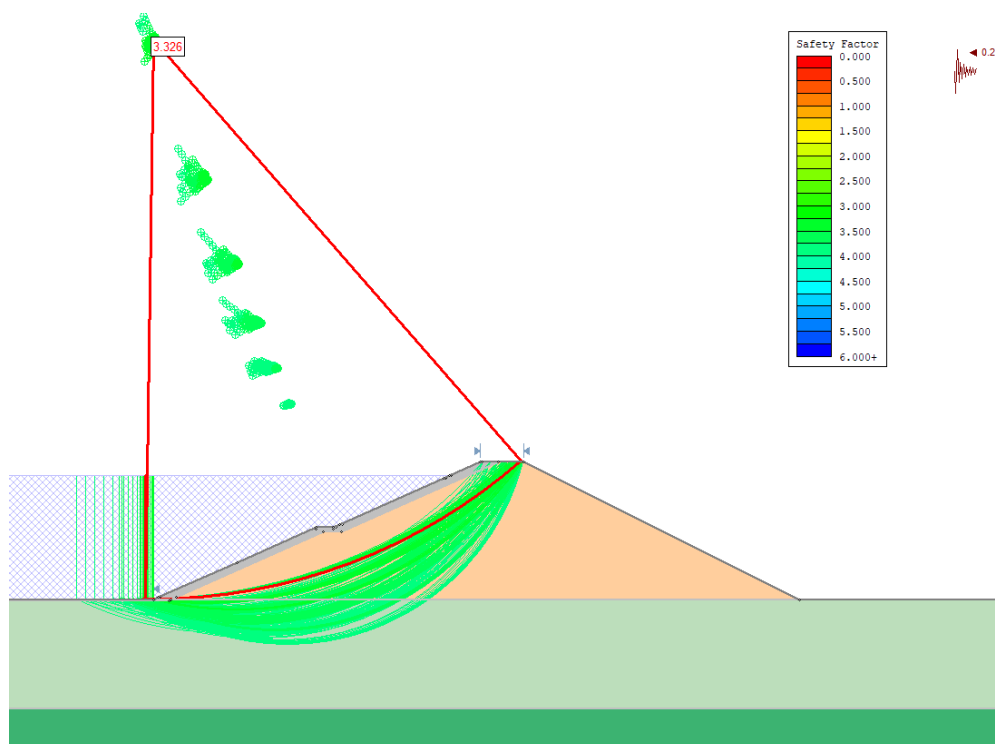


Fig. 6. Upstream slope safety factors of sliding surfaces for full storage case with 0.21g acceleration coefficient.

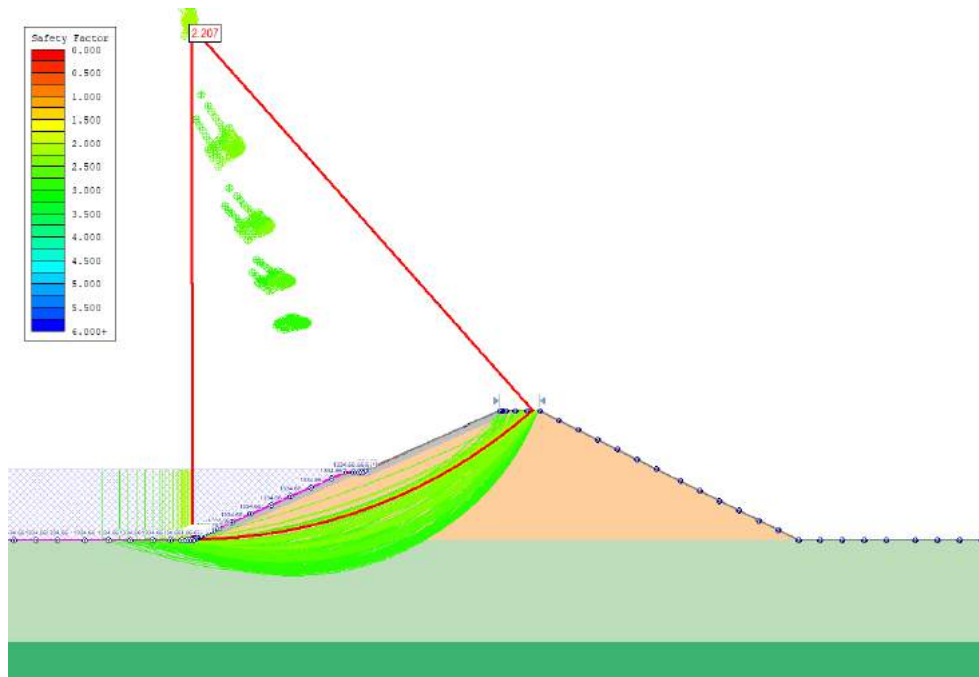


Fig. 7. Upstream slope safety factors of sliding surfaces for partial storage case with 0.21g acceleration coefficient.

In case of leakage in the geomembrane (Figure 8), numerical transient seepage analyses along with calculated stability safety factors of the downstream slope of the dam are also presented in the following Figures, 9,10, 11 and 12.

As oppose to the downstream slope of the dam, upstream slope will not be a critical slope in terms of any sliding even if seepage occurs due to a rupture on the geomembrane liner since high reservoir water pressure acting on the upstream geomembrane liner has positive impact on the shear strength of the sliding surfaces. Therefore upstream slope safety was not taken into consideration in case of leakages on the geomembrane defects.

As a result of transient numerical seepage analyses, it was observed that factor of safety value of the downstream slope diminishes for each time period (time step) depending on the developed pressures in the pervious rockfill and bedrock. For instance, in general, in the first step as the beginning of the leakage, safety factor of the downstream slope becomes higher. However, due to development of seepage in the rockfill and pervious rock foundation, factor of safety value of the slope decreases and reaches its minimum value at the end of the time step (steady state seepage condition). Numerical seepage analyses were performed using 2-D Laplace seepage equation solved by finite element method (Eqn 4). In the modeling, 3 noded triangle elements were used. The number of the elements was 1500. The number of time stages was 5 with the times, 50, 200, 500, 1000 and 2500 days. The maximum number of the iteration was 100 and tolerance was 0.0001. The general governing equation is for transient seepage flow in a heterogeneous and an isotropic soil [29].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_V \frac{\partial h}{\partial y} \right) + Q' = \frac{\partial \theta}{\partial t'} \quad (4)$$

where, h: total head, K_H and K_V :Hydraulic conductivities in the horizontal and vertical dimensions, Q' : applied boundary flux, θ : volumetric water content, t' : time.

Since the risk of occurrence of a leakage due to a liner rupture and also a large earthquake at the same time is very low, earthquake effect on the sliding surfaces in slope stability calculations was not taken into account in case of leakage. Seepage analyses provided also amount and pressures of seepage at the downstream toe level of the dam. Numerical transient seepage analyses showed that seepage amount and foundation seepage pressures at the downstream toe of the dam increase by time depending on the development of the leakage from the geomembrane rupture and reach their maximum values at the end of the time step. It was also observed that seeped water in the pervious bedrock caused high seepage pressures at the toe level of the dam. This foundation seepage pressure was the largest one and reached 20 kPa value at the downstream toe of the dam wherein vertical rockfill pressure had also almost same stress value. Therefore, in order to prevent any heave occurrence at the dam toe, it is recommended for this particular dam to construct a downstream toe drain or a relief well.

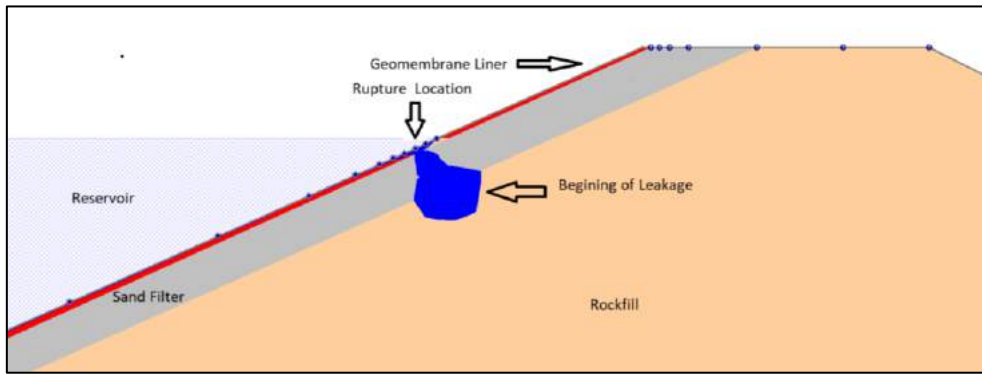


Fig. 8. Rupture location of the geomembrane liner

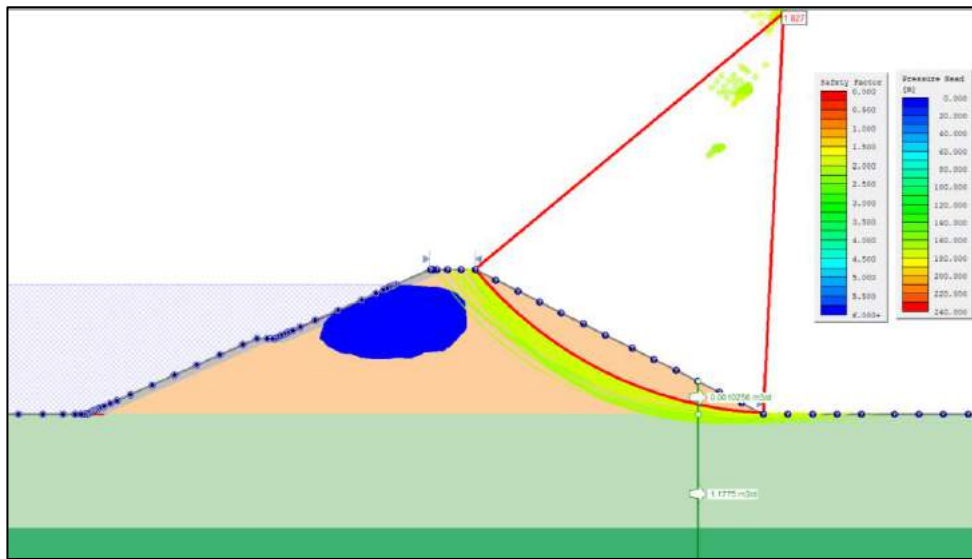


Fig. 9. Flow lines, pressure heads, seepage amount and safety factor of downstream slope in case of a geomembrane rupture when the reservoir is in its maximum level (Starting leakage (time =200 days))

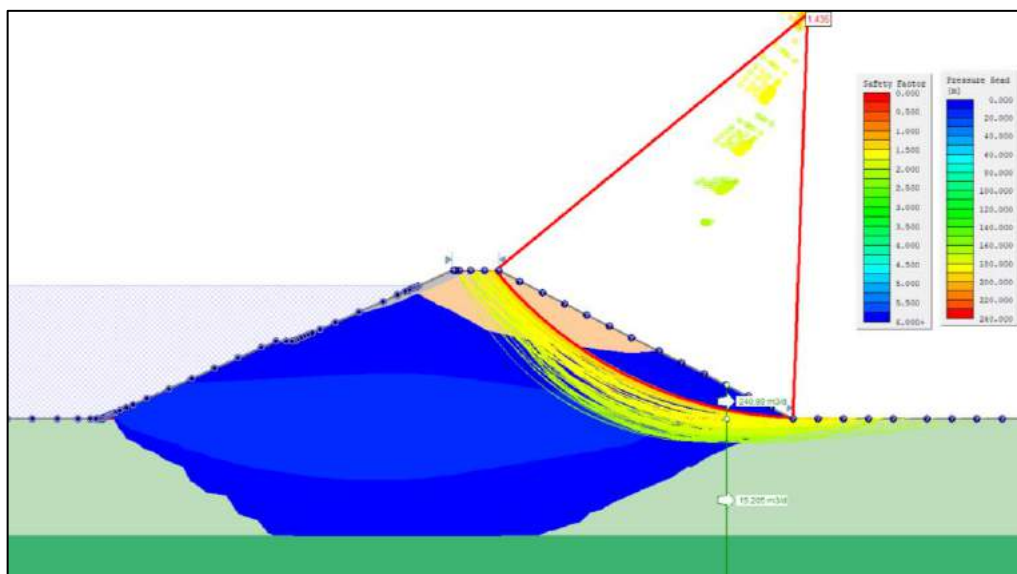


Fig. 10. Flow lines, pressure heads, seepage amount and safety factor of downstream slope in case of a geomembrane rupture when the reservoir is in its maximum level (Starting leakage (time =500 days))

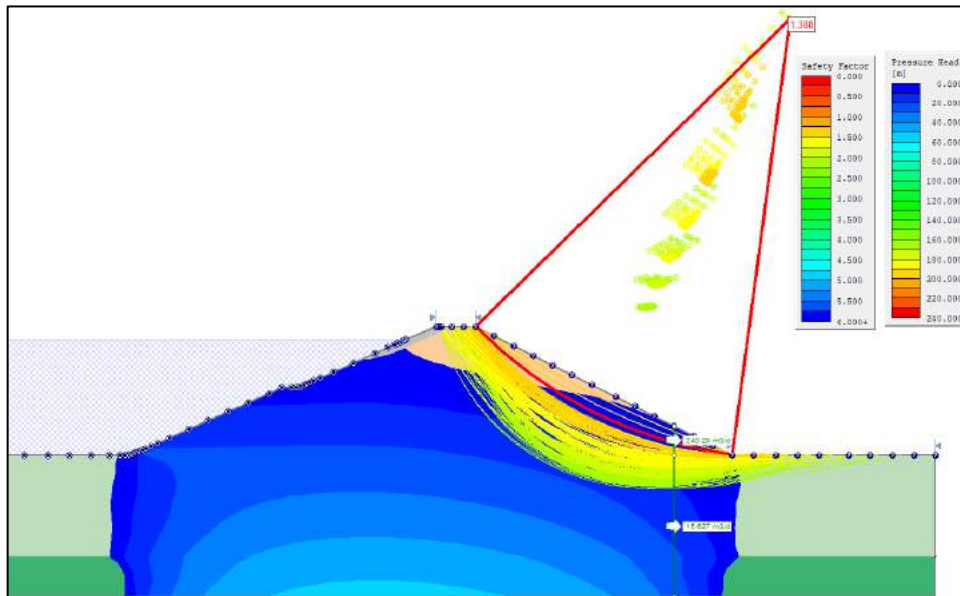


Fig. 11. Flow lines, pressure heads, seepage amount and safety factor of downstream slope in case of a geomembrane rupture when the reservoir is in its maximum level (Starting leakage (time =1000 days))

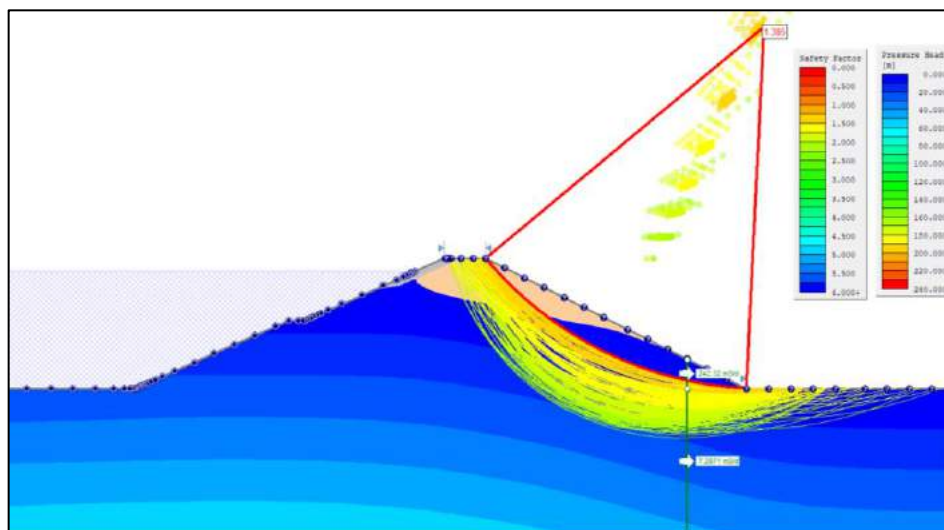


Fig. 12. Flow lines, pressure heads, seepage amount and safety factor of downstream slope in case of a geomembrane rupture when the reservoir is in its maximum level (Starting leakage (time =2500 days - steady state condition))

4. Discussion

In this study, for safety of the Yiprak rockfill dam with geomembrane seepage barrier, findings are explained below:

- Upstream and downstream slopes with 2.25H to 1V are sufficiently stable for full storage and partial storage conditions even in case of a large earthquake causing 0.21g average horizontal acceleration on the sliding surfaces.
- For the upstream slope, the lower sliding safety factors were obtained when the reservoir is at its minimum storage level in case of earthquake with a seismic coefficient of 0.21g. However, sliding safety factors become the highest if the reservoir is its highest level since the highest water pressures acting on the upstream slope face occur. Since then, rockfill strength on the failure surfaces is increased due to the effect of reservoir water pressure.
- Performing transient numerical seepage analyses is quite important to estimate the water pressures for different bedrock or foundation soil conditions as well as to determine the effects on the water pressure and slope safety factor variations. At the beginning of the seepage, it was observed that slope safety factors are usually higher since developed pore water pressures in the rockfill are less. However, at the final stage which is the steady state condition, slope safety factors become the lowest since then seepage pressures are the highest.
- Even in case of leakages, slopes of the dam will sufficiently be safe.

- In case of a geomembrane liner puncture, It is recommended for this particular dam case that constructing a downstream toe drain or a relief well will provide a safety measure against any heave occurrence or instability of the rockfill toe since the embankment and bedrock foundation are quite pervious causing high seepage pressures.

5. Conclusion

The slopes of Yiprak dam are safely designed. If a rupture occurs on the geomembrane liner when the storage is full, slopes of the dam will still perform well and slopes will be safe against any failure. It is very important to perform transient numerical seepage analyses beside slope safety analyses to understand the development of seepage paths, prediction of pore water pressures and amount of seepage at the downstream part of the dam in case of any tear on the geomembrane liner. It is also recommended that numerical transient seepage analyses should be performed to assess slope safety of the dam for different embankment types and embankment and foundation material properties.

References

- [1] Koerner, R. M., & Wilkes, J. A. (2012). 2010 ICOLD Bulletin on Geomembrane Sealing Systems for Dams. *Geosynthetics*.
- [2] ICOLD. (2010). *Geomembrane Sealing Systems for Dams - Design Principles and Return of Experience. Bulletin 135*. France.
- [3] ICOLD. (2011). *Small Dams-design, Surveillance and Rehabilitation. International Commission on Large Dams, Bulletin 143*. France.
- [4] Bhowmik, R., Shahu, J., & Datta, M. (2017). Failure analysis of a geomembrane lined reservoir embankment. *Geotextiles and Geomembranes, vol. 46*, p. 52-65.
- [5] Poulain, D., Peyras, L., & Meriaux, P. (2011). Feedback and guidelines for geomembrane lining systems of mountain reservoirs in France. *Geotextiles and Geomembranes, Vol. 29*, p. 415-424.
- [6] Mendoza, C., Gisbert, A., Izquierdo, A., & Bovea, M. (2009). Safety factor nomograms for homogeneous earth dams less than ten meters high. *Engineering Geology, vol. 105*, p. 231-238.
- [7] Tolooiyana, A., Abustana, I., Selamata, M., & Ghaffari, S. (2009). A comprehensive method for analyzing the effect of geotextile layers on embankment stability. *Geotextiles and Geomembranes, Vol.27*, p. 399-405.
- [8] Briancon, L., H., G., & D., P. (2002). Slope stability of lining systems- experimental modelling of friction at geosynthetic interface. *Geotextiles and geomembranes, Vol. 20*, P. 147-172.
- [9] Earth, G. (2019). 3 3, 2019 tarihinde Google Earth: <http://www.google.com.tr/int/tr/earth> adresinden alındı
- [10] Erlingsson, S., & Hauksson, D. R. (2009). Analysis of a geomembrane face rockfill dam during earthquake loading. *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, p. 1678-1681.
- [11] Jones, D. R., & Dixon, N. (2003). *Stability of Landfill Lining Systems: Report No. 1. R&D Technical Report P1-385/TR1. Research Contractor: Golder Associates (UK) Ltd.* In conjunction with Loughborough University Consultants Ltd.
- [12] MTA-Turkey. (2016). *Dinar active fault map*. http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari: http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari adresinden alınmıştır
- [13] Gülkan, P., & Kalkan, E. (2002). Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology, Vol. 6*, p. 397-409.
- [14] Giroud, J. a. (1989). Leakage through liners constructed with geomembranes – Parts I and II. *Geotextiles and Geomembranes, 8(1-2)*, p. 27-67 and 71-111.
- [15] Giroud, J. P. (1997). Equations for calculating the rate of liquid migration through composite liners due to geomembrane defects. *Geosynthetics International, Vol. 4(3-4)*, p. 335-348.
- [16] Foose, G. J., Benson, C. H., & Edil, T. B. (2001). Predicting leakage through composite landfill liners. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 127(6)*, p. 510-520.
- [17] Touze-Foltz, N., & Giroud, J. P. (2005). Empirical equations for calculating the rate of liquid flow through composite liners due to large circular defects in the geomembrane. *Geosynthetics International, Vol.12 No.1*, p. 205-207.
- [18] Girard, H., Fischer, S., & Alonso, E. (1990). Problems of friction posed by the use of geomembranes on dam slopes-examples and measurements. *Geotext. Geomembranes, Vol. 9*, p. 129-143.
- [19] Wu, W., Wang, X., & Aschauer, F. (2008). Investigation on failure of a geosynthetic lined reservoir. *Geotext and Geomembranes, Vol. 26*, p.363-370.
- [20] Moraci, N., Cardile, G., Gioffrè, D., Mandaglio, M. C., Calvarano, L. S., & Carbone, L. (2014). Soil geosynthetic interaction: Design parameters from experimental and theoretical analysis. *Transportation. Infrastructure. Geotechnology.*, p. 165-227.
- [21] Weber, C. T. (2008). *Leakage through defects in geomembrane liners under high hydraulic heads*. Texas: The University of Texas at Austin.
- [22] Weber, C. T., & Zornberg, J. (2008). Numerical analysis of leakage through geomembrane lining systems for dams. *The First Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition*. Cancun, Mexico.
- [23] SLIDE. (2010-2016). Comprehensive slope stability analysis software. Rocscience Inc., 39 University Ave Ste 780 Toronto, Ontario M5G 1Y8.
- [24] Leps, T. (1970). Review of the shearing strength of rockfill. *J. of Soil Mech. and Found. Div., Vol. 96(SM4)*, p. 1159-1170.
- [25] Barton, N., & Kjærnsli, B. (1981). Shear strength of rockfill. *J. of the Geotech. Eng. Div., Vol. 107(GT7)*, p. 873-891.
- [26] Marachi, N. D., Chan, C. K., & Seed, H. B. (1972). Evaluation of properties of rockfill materials. *J. Soil Mech. Found. Div., Vol. 98(SM1)*, p. 95-114.
- [27] Eurocode, 7. (2013, June 13-14). Geotechnical Design. Dublin.

- [28] Bishop, A. W. (1955). The Use of the slip circle in the stability analysis of slope. *Geotechnique*, Vol. 5, P. 7-17.
- [29] Charbeneau, R. J. (2000). *Groundwater hydraulics and pollutant transport*. New Jersey: Prentice Hall.



Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye'nin İnovasyon Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Kıyaslanması

Burcu Oralhan¹, Miraç Alper Büyüktürk²

¹ Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8905-0140)

² Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7878-9505)

(İlk Geliş Tarihi 29 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 4 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.571284)

ATIF/REFERENCE: Oralhan, B. & Büyüktürk, M. A. (2019). Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye'nin İnovasyon Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 471-484.

Öz

Küreselleşen dünyada ülkelerin, şirketlerin veya diğer tüm organizasyonların faaliyetlerinin sürdürülebilir olması ve güçlü bir şekilde ayakta kalabilmeleri için yeniliğe hızlı adapte olması gerekmektedir. Sürdürülebilir ekonomik gelişmelerin sağlanmasında, toplumların refah düzeyinin artırılmasında ve işletmeler için rekabet dinamiğinin geliştirilmesinde inovasyon vazgeçilmez bir kaynaktır. İnovasyon doğru, sistematik ve etkin uygulandığında toplumun, ülkenin veya işletmenin gelişmesi kaçınılmazdır. Bu çalışmada Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'nin inovasyon performansının çok kriterli karar verme yöntemleriyle kıyaslanması amaçlanmıştır. Avrupa İnovasyon Endeksi hesaplamasında kullanılan insan kaynakları (İK), araştırma sistemleri (AS), yenilikçi ortam (YO), finansman ve destek (FD), yenilikçiler (Y), bağlantılar (B), entelektüel varlıklar (EV), istihdam etkileri (IE) ve satış etkileri (SE) olmak üzere 10 temel gösterge çok kriterli karar verme metodları ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Avrupa Birliği'ne üye olan 28 ülke, Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 3 aday ülke ve 5 adet komşu ülkenin inovasyon performansları incelenmiştir. 2018 yılı Avrupa İnovasyon Endeksi Puanlama tablosundan temin edilen göstergelerin değerleri, çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve MOORA metodlarıyla kıyaslanarak ülkelerin inovasyon performansı sıralaması yapılmıştır. Yöntemlerin sonuçları birbirine yakın olmasına rağmen bazı ülkelerin sıralamalarda değişiklikler gösterdiği tespit edilmiştir. Ülkelerin inovasyon performansları incelendiğinde TOPSIS ve MOORA yöntemine göre ilk üç sırada İsviçre, İsveç ve Danimarka yer almaktadır. Son üç sıralama ise TOPSIS yöntemine göre Ukrayna, Romanya ve Makedonya olarak elde edilirken, MOORA Yöntemine göre ise Romanya, Ukrayna ve Polonya'dır. Sonuçlar incelendiğinde Türkiye TOPSIS Yöntemine göre 31. ve MOORA yöntemine göre ise 33. sırada yer almaktadır. Türkiye'nin inovasyon performansına alt kriter bazlı sıralamalarda bakıldığında ise; ilk on ülke arasında olduğu tek temel kriter 'firma yatırımları' olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnovasyon, inovasyon göstergeleri, çok kriterli karar verme, TOPSIS, MOORA, Avrupa Birliği.

Comparison Of European Union And Turkey's Innovation Performance By Using Multi Criteria Decision Making Methods

Abstract

In a globalizing world, the activities of countries, companies or all other organizations need to be adoptable to innovation in order to sustainable and to remain strong. Innovation is an indispensable source for achieving sustainable economic developments, increasing the welfare of societies and development competitive dynamics for enterprises. When innovation is used correctly, systematically and effectively, the development of society, country or business is inevitable.

¹ Sorumlu Yazar: Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8905-0140, boralhan@nny.edu.tr

In this study, it is aimed to European Union countries' and Turkey's innovation performances are compared to by using multi-criteria decision-making methods. The significant indicators such as Human resources (IK), research systems (AS), innovative environment (YO), financing and support (FD), innovators (Y), links (B), intellectual assets (EV), employment impacts (IE) and sales impacts (SE) which are based on European Innovation Index has been used. 28 member countries of the European Union, 6 neighbour countries and 4 of the candidate countries' including Turkey innovation indicators and their sub-criterias performance is calculated and ranked by using multi-criteria decision-making methods. The performance scores of the indicators obtained from the 2018 European Innovation Index. The countries' innovation performances were ranked by using datas which is obtained from TOPSIS, VIKOR and MOORA multi-criteria decision making methods. Although the results of the methods were close to each other, it was determined that some countries differ in the rankings. When the results are examined, Turkey is seen in 31th place according to results of TOPSIS and VIKOR. Also, seen in 33th place according to MOORA Method. According to TOPSIS and VIKOR method, the first three countries are Switzerland, Sweden and Denmark. Ukraine, Romania and Macedonia are last three places. According to MOORA method, Sweden, Switzerland and Denmark are the top three, while, Romania, Ukraine and Poland are the last three. When Turkey's sub-criteria ranking based on innovation performance is viewed; it is seen that the only basic criterion among the top ten countries is 'firm investments'.

Keywords: Innovation, Innovation Indicators, Multi Criteria Decision Making, TOPSIS, MOORA, European Union.

1. Giriş

Günümüzde makro çapta ülkelerin ve ekonomilerin, mikro çapta işletmelerin ayakta kalmasını sağlayan en önemli faktörlerden biri 'İnovasyon' kavramıdır. Yakın tarihte kısa dönemlerde değişim ve gelişim gösteren teknolojiler söz konusu iken, hızlı yaygınlaşan teknoloji üretim, satış, pazarlama, yönetim ve istihdam politikalarına entegre edilerek son derece yenilikçi ürün ve hizmetler ortaya çıkarmaktadır. Bunun sonucunda, bu ürün ve hizmetlerin insanların hayatlarını kolaylaştırdığı, ufkunu genişlettiği, ülkelere ve/veya şirketlere fayda maksimizasyonu sağladığı görülmektedir. Sürdürülebilirlik, yüksek istihdamı oranı, düşük cari açık oranı ve ihraç fazlası gibi bir ülkenin en önemli emellerinin gerçekleştirilmesinde yenilikçilik politikaların benimsenmesi gerekmektedir. Yeniliklere ayak uyduramayan sistemlerin, organizasyonların entropiye daha kısa sürede maruz kalması yadsınamaz bir gerçektir. Kısacası inovasyonun yine mikro perspektifte işletmeler ve organizasyonların, makro çapta ülkelerin refah seviyesini yükseltmek, küresel rekabette ayakta kalmalarını sağlayan bir faktör olduğunu, önemle vurgulamak gerekir. İnovasyon kavramı yeni ve geliştirilmiş olan ürün ve süreçlerin yeni organizasyonel yapılar ile var olan teknolojinin yeni alanlarda kullanılmasının sağlanması ve yeni pazarların keşfedilmesi olarak tanımlandığı görülmektedir (Nafgizer, 2006, s. 393). İnovasyon, OECD tarafından hazırlanmış olan Oslo El Kitabı incelendiğinde; işletme içerisinde, işletme organizasyonlarında ya da dış ilişkiler içerisinde gerçekleştirilen yenilik, ya da önemli derecede iyileştirilmiş olan bir ürün/hizmet ya da süreç, yeni bir pazarlama yöntemi veya örgütsel yöntemin gerçekleştirilmesi olarak adlandırılmaktadır (Oslo Kılavuzu, 2006, s. 50). İnovasyon; değişmek, yenilenmek ve daha yaratıcı ve iyi ürünler, hizmetler ortaya çıkarmak, daha önce denenmemişi denemek anlamına da gelmektedir. Ayrıca, geliştirilmiş veya yeni ürünler, stratejiler, süreçler veya hizmet üreten fikirler geliştirerek, uygulayarak ve üreterek sosyal ve ekonomik değer bilgidende elde edildiği bir süreç olarak tanımlanabilir.

İnovasyon, günümüz rekabet ortamında hayati bir öneme sahiptir. İşletmeler rekabet avantajı elde edebilmek için hem rakiplerinden daha hızlı bir biçimde yeni teknolojiler geliştirmek, hem de inovasyon süreçlerini sürdürülebilir hale getirmek zorundadırlar. Bir ülke kendi inovatif çalışmalarını yürütemezse, bu durum beraberinde o ülkenin birçok ürün için yurtdışına bağımlılığını gerektirecektir ve cari bütçe açığında artış olmasına sebep olmaktadır (Kaynak, Altuntaş ve Dereli, 2017, ss. 32-33). Bu faktörün etkilerini ölçmek için dünya üzerinde belirli kurum ve kuruluşlar çeşitli endeksler hesaplamaktadır. Hesaplanan endekslerin sonucunda ortaya çıkan veriler ışığında ülkelerin inovasyon performansları kıyaslanabilmektedir. Öte yandan, aynı şekilde mikro çapta belirli araştırma şirketleri veya akademisyenler tarafından sektörel ve firmasal bazda bazı endeksler oluşturulmaktadır. KOBİ'lerin buldukları pazarda kendinden büyük firmalarla rekabet etmesi için sürekli yeni ürünler ve hizmetler ortaya koyması gerektiği göz önünde bulundurulursa, inovasyonun önemi daha iyi kavranacaktır (Örücü vd., 2011, ss. 58-59). Benzer durum ülkeler içinde geçerli olduğunda, ülkelerin diğer ülkelerle aynı pazarda rekabet gücüne sahip olması için yeniliğin gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni ürün, hizmet ve teknolojiler üreten işletmeler gibi ülkelerin de ekonomik büyümesi ve kalkınma hızındaki ivmelenme giderek artacaktır. İnovasyonun, ülke ekonomisine katkısı, ülke sınırları içerisinde üretilen bilginin ticarileştirilmesi neticesinde katma değer sağlamaktır (Işık ve Keskin, 2013, ss. 42-43). Bunların yanında yaşam kalitesinin artması, ekonomik büyümenin sürdürülebilir hale getirilmesi, verimliliğin ve istihdamın artması gibi katkıları da bulunmaktadır (Işık ve Keskin, 2013, s. 44). Ayrıca, ülke ve topluma ait kaynakların ürüne dönüştürülmesi yoluyla ekonomik değer haline getirilmesi de yine inovasyonun sonuçlarından biridir. Bununla beraber, inovasyon yoluyla işletmelerin verimliliği ve karlılığı arttığından, ülke ekonomisi küresel düzeyde rekabet avantajı elde etmektedir. Bunun sebebi ise işletmelerin bu yenilikleri çevresine ve böylece tüm ekonomiye bir çeşit dinamizm kazandırmasıdır (Merçan ve Gömleksiz, 2013, s.4).

İnovasyonun ve türlerinin tanımına yönelik çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Literatür incelendiğinde inovasyonun derecelerine, alanlarına ve özelliklerine göre birçok sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. İnovasyon ile ilgili olarak meydana gelen değişim ve farklılığa göre inovasyon radikal ve artırimsal inovasyon olarak ikiye ayrılmaktadır. (Ettlid vd., 1984, s. 682). Tablo 1'de inovasyon türleri ve tanımları yer almaktadır. Ayrıca bu tabloda inovasyonun alanına ve derecesine göre sınıflandırma yapılmıştır.

Tablo 1. İnovasyon Türleri ve Tanımları

	İnovasyon Türleri	Kısa Tanımı
Alanına Göre İnovasyon	Ürün İnovasyonu	Yeni bir ürünün çıkarılması veya mevcut bir ürünün çok büyük ölçüde değiştirilmesidir.
	Süreç İnovasyonu	İşletmenin birim maliyetini azaltacak şekilde üretim veya teslimat süreçlerinde yapılan inovasyondur.
	Organizasyonel İnovasyon	Yönetim Maliyetlerini azaltma, daha hızlı kararlar alma, organizasyon esneklik sağlama amacıyla yapılan inovasyon türüdür.
	Pazarlama İnovasyonu	Sektör için yepyeni bir ürün, süreç veya iş yapma şeklinin ortaya çıkarılmasıdır.
Derecesine Göre İnovasyon	Radikal İnovasyon	Sektör için yepyeni bir ürün, süreç veya iş yapma şeklinin ortaya çıkarılmasıdır.
	Artımsal İnovasyon	Var olan üzerine yapılan geliştirmeler anlamına gelen inovasyondur.

Kaynak: (Adıgüzel, 2012, s. 25)

Tablo 1’de bahsedilen inovasyon türleri tanım ve içerik olarak mikro çapta işletmeler ve organizasyonlar için yapılmış iken, aslında makro çapta ele alındığında ülkeler açısından değerlendirilebilecek türlerdir. İnovasyon, yeni fikirlerin ürünlere ve süreçlere ya da toplumsal ve firma faaliyetlerinin katma değer oluşturacak diğer yönlerine uygulanması olarak da tanımlanabilmektedir. Araştırmanın, kıyaslama tarafını oluşturan AB açısından bakıldığı zaman da, inovasyonun önemi Avrupa Birliği ülkelerinin yakın gelecekte lider pozisyonda olmak istemesi ve finansal krizlerden kaçınmak talebinden daha fazla önem arz etmektedir. Bu yüzden Avrupa Birliği’ne üye olan ülkelerin kendi arasında yaptığı inovasyon performansı karşılaştırmaları önemli bir araştırma konusudur.

Ulusal ve uluslararası literatürde inovasyona yönelik birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Konuyla ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, genellikle Avrupa Birliği ile diğer ülkelerin ilişkisi, anlaşmalar, prosedürler ve yapısal reformlara dikkat çekilmiştir. Ayrıca Avrupa Birliği’ne aday ülke tarafından iyileştirilmesi gereken faaliyete odaklanılmıştır. Literatürde inovasyonu ölçen ve ülkelerin inovasyon performanslarını ortaya koyan birçok gösterge bulunmaktadır. Yazarlar ve kurumlar tarafından inovasyon farklı şekillerde sınıflandırılmasına ve farklı göstergelerle değerlendirilmesine rağmen, en yaygın olarak kullanılan OECD-Eurostat (2006) tarafından hazırlanan sınıflandırmadır (Oslo Kılavuzu, 2006). Kılavuza göre ürün, süreç, pazarlama yöntemi veya organizasyonel yöntemlere yönelik inovasyonlar incelenmelidir.

Lööf, Heshmati, Asplund ve Naas (2001, s. 119) inovasyon ve verimlilik arasındaki ilişkiyi, Toplumsal İnovasyon Anketi ve üç ülke için (Finlandiya, Norveç ve İsveç) yapılan CDM modelindeki verileri kullanarak incelemiştir. Jungmittag (2004) inovasyonun, teknolojik özelleştirmenin ve teknoloji difüzyonunun, 1969’tan 1998’e kadar olan süreç AB’nin ekonomik büyümesine ve iyileştirilmesine olan etkilerini, panel veri modelini kullanarak değerlendirmiştir. Oprean ve Tanasescu (2007, s. 35) Romanya’nın inovasyon potansiyelini 2007’deki aday ülke olan Türkiye, 25 AB üyesi olan, olmayan ve aday olmayan ülkelerle Avrupa İnovasyon Skorkartı’ndan elde edilen verileri kullanarak, kıyaslama yapmıştır. Tokumasu ve Watanabe (2008, s. 48), 15 AB üyesi ülkenin inovasyon kapasitesi, kabiliyetini, onların inovasyon yeterliliğini, inovasyon jenerasyonu ve enstitü yapısı adı verilen üç değişkeni kullanarak analiz etmiştir. Bunu yaparken, çoklu regresyon analizi, küme analizi ve temel bileşenler analizi uygulamışlardır. Autant-Bernard vd. (2010), 22 AB ülkesi ve farklı endüstriler için inovasyon adaptasyonunun büyüklüğünü incelemiştir. Ayrıca, inovasyon adaptasyonu için Toplumsal İnovasyon Anketi’nde yer alan yeni kriterleri tavsiye etmişlerdir. Fernandez-Ribas (2010, s. 55) Amerika ve Avrupa’yı ABD’deki bazı eyaletlerde, İngiltere’de ve İspanya’daki üretim firmalarının inovasyon performanslarındaki faktörleri çoklu varyasyon modelini kullanarak, kıyaslamıştır. Suurna ve Kattel (2010, s. 90), AB’nin Orta ve Doğu Avrupa’nın inovasyon politikalarını incelemiştir. Paas ve Poltimae (2010) Baltık ülkelerinin ulusal inovasyon performanslarını, AB’nin içeriğindeki ‘Avrupa İnovasyon Skorkartı’nda yer alan kriterlere göre faktör analizi kullanarak, kıyaslamışlardır. Pan, Hung ve Lu (2010) 33 Asya Ülkesi ve Avrupa Ülkelerinin ulusal inovasyon sistemlerinin performanslarını ‘Veri Geliştirme Analizi’ yaklaşımıyla ölçmüşlerdir.

2009 yılında Ersöz’ün yapmış olduğu Avrupa inovasyon göstergeleri ışığında Türkiye’nin konumu açıklanmıştır. Çalışmada özellikle Türkiye’nin gelişmiş ülkeler düzeyine çıkabilmesi için ihtiyaçlarının belirlenerek, bu ihtiyaçlara uygun stratejilerin ortaya konması ve inovasyon göstergelerine göre öncelikli olarak hangi alanlara odaklanılması gerektiğini çok değişkenli istatistik teknikleri uygulanarak ortaya konulmuştur. Şahinli ve Kılınç (2013, s. 332) tarafından bilgi yoğun sektörlerdeki istihdam, Toplam Faktör Verimliliği (TFV), Ar-Ge harcamaları, patent başvuru ve tescil sayıları, girişimci, araştırmacı ve teknisyen sayıları, ileri teknoloji ihracatı, royalti ve lisans ücretleri, endüstri katma değeri, inovasyon kapasitesi ile Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT)’nin ihracatı gibi göstergeler ışığında Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye arasında bir kıyaslama yapılmıştır. Araştırmada, inovasyon etkileyen en önemli göstergeler olarak; Ar-Ge harcamaları, ileri teknoloji ihracatı ile bilgi ve teknolojideki insan kaynaklarının işgücü içerisindeki payı dikkat çekmiş ve gelişmiş AB ülkelerinde GSYH içinde Ar-Ge paylarının yüksekliğine değinilmiştir. Avrupa Birliği’ne yeni katılan ülkeler ve Türkiye’de ise bu oranlar, AB-27 ortalamasının altında seyretmekte olduğu ve gelişmişlik ile Ar-Ge harcamaları arasında doğrusal bir ilişkiden söz edilebileceği belirlenmiştir. Türkiye’nin Avrupa Birliği’ne üye veya aday ülkelere kıyasla Ar-Ge harcamalarında, ileri teknoloji ihracatında ve işgücü içerisindeki bilgi ve teknolojideki insan kaynaklarının payı bakımından belirgin bir şekilde geride kaldığı ifade edilmiştir. AB ülkeleri ve Türkiye arasında inovasyon göstergeleri bakımından kıyaslamasına yönelik 2012 yılında hazırlanan bir çalışmada Kümeleme Analizi’nden faydalanılmıştır. Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden biri olan WARD yöntemini kullanan araştırmacılar, bu sayede inovasyon göstergeleri bakımından benzer performansa sahip ülkeleri ortaya koymuşlardır. Araştırmada kullanılan göstergeler ise beş ana başlık altında toplanmıştır bunlar; Ar-Ge Göstergeleri, Eğitim Göstergeleri, Patent Göstergeleri, Endüstriyel Tasarım ve Ticari Marka Göstergeleri ve son olarak Diğer Göstergeler’dir. Bunların alt başlıkları ile toplamda 13 gösterge, WARD yöntemi ile kümeleme analizine tabi tutulmuş; elde edilen bulgular neticesinde 27 AB ülkesi arasında Türkiye’nin inovasyondaki konumu belirlenmiştir. Göstergelere uygulanan metotlar sonucunda, ülkeler dört gruba

ayrılmış ve bu gruplar, inovasyonda lider ülkeler, inovasyonda takipçi ülkeler, sınırlı derecede inovatif ülkeler ve inovatif olmayan ülkeler olarak nitelendirilmiştir. Bu araştırma sonucunda, Türkiye 3. grupta yer aldığını görülmüştür. Bir önceki araştırmada kullanılan kriterlerden Ar-Ge harcamalarının artırılması, uluslararası patent alımının artırılması, ileri teknoloji üretimi ve ihracatındaki önemi bu çalışmada da görülmektedir (Atik ve Özbek, 2012, s. 194).

Türkiye'nin inovasyon performansının belirlenmeye çalışıldığı bir araştırmada, kriterler dört farklı kaynaktan alınarak, nitel bir analiz yapılmıştır. Bu kaynaklar 'Avrupa Birliği İnovasyon Birliği Skor Tahtası 2011 Raporu', 'Insead Raporunda Türkiye'nin Konumu', 'The Economist Intelligence Unit (EIU) Dünyanın En Yenilikçi Ülkelerinin Sıralaması Çalışması' ve 'Türkiye'nin Konumu', 'Dünya Bilgi Ekonomisi Endeksi ve Türkiye'nin Konumu'dur. Bu raporların sonucunda Türkiye inovasyon alanında en iyi performans ortaya koyan ülkelerden biri olmadığı görülmüştür. Bu araştırma sonucunda Türkiye, Ar-Ge ve inovasyona verilen teşvikler, ulusal inovasyon sistemi içinde gereksinim duyulan kurumların varlığı ve bilimsel yayınlar gibi kıstaslarda görece iyi performans sergilemiştir. Fakat inovasyon yapabilmek için yetkin insan kaynağı ve bu kıstasa bağlı olarak daha bağlayıcı bir kıstas olarak dikkate alınabilecek genel eğitim sistemi ve fikri mülkiyet hakları alanları, Türkiye'nin geliştirmesi gereken başlıklar arasında gösterilmektedir (Karaata, 2012, s. 35). Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle Türkiye ve AB ülkelerinin ar-ge ve inovasyon göstergeleri yönünden sınıflandırılmasına yönelik yapılan farklı bir çalışmada inovasyon düzeylerini Ar-Ge, patent sayıları ve eğitim düzeylerini de içine alan 'Temel İnovasyon Göstergeleri' ile açıklamışlardır. Bu nedenle Türkiye'nin 2012 Yılı Temel İnovasyon Gösterge değerlerine göre Avrupa Birliği (AB) ülkeleri arasındaki konumu tartışılmıştır. Bu doğrultuda, Türkiye ve Avrupa Birliği üyesi ülkeler 2012 dönemi için benzerlikleri ve farklılıkları açısından gruplandırılmıştır. 29 ülke için yapılan kümeleme analizinde Ward tekniği kullanılmış ve Türkiye'nin bu ülkeler arasında seçilen değişkenlere göre hangi kümede yer alacağı tartışılmıştır. Ayrıca, değişkenlerin kümeleri birbirinden ayırma düzeyi için MANOVA LSD düzeltilmiş istatistikleri kullanılmış ve belirlenen küme sayısının tutarlılığını test etmek için Discriminant Analizi yapılmıştır (Uzgören ve Elevli, 2013, s. 78).

Türkiye'nin Avrupa Birliği sürecinde ekonomik açıdan durumunun tespit edilmesi ve AB üye, aday ülkeleri ile Türkiye'nin ekonomik performanslarını karşılaştırılmasına yönelik hazırlanan bir çalışmada Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri uygulanmıştır. Bu çerçevede, araştırmada ikili karşılaştırmalar yaparak organizasyonların kriterler bazında skorlarını ortaya koyma temeline dayanan ELECTRE yöntemini, önceden belirlenmiş tercih fonksiyonlarından yararlanarak ikili karşılaştırma yapan PROMETHEE yöntemini ve organizasyonların performanslarını pozitif ideal çözüme yakınlığına göre sıralayan TOPSIS yöntemi kullanılmıştır (Urfalioğlu ve Genç, 2013, s. 360). Farklı bir çalışmada beş ayrı inovasyon göstergesi belirlenerek kümeleme analizi ile değerlendirme yapılmıştır. Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden biri olan WARD yöntemini kullanılan araştırma sonucunda, Türkiye'nin inovasyonda 3. grupta yer aldığı görülmüştür. Ülkelerin inovasyon performansının ölçülmesine yönelik yapılan farklı bir çalışmada Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci ve TOPSIS'i kullanarak inovasyon endeksleri hesaplanmıştır. Oslo Kılavuzu ve Avrupa İnovasyon Skor tahtasındaki 2013 ve 2014 yılı verileri esas alınarak hazırlanan çalışmada, kriterler; gayri safi yurt içi hâsıla, gayri safi yurtiçi hâsıla içindeki Ar-Ge harcamaları ve kişi başına düşen patent sayıları olarak belirlenmiştir (İnel ve Türker, 2016, s. 148). Avrupa Birliği ülkelerinin inovasyon performansları hesaplanmıştır. Kaynak, Altuntaş ve Dereli (2017, s. 38), Avrupa Birliği'ne aday ülkeler, İzlanda, Makedonya, Sırbistan ve Türkiye'nin inovasyon performanslarının kıyaslamasını, 'Bilgi Temelli Yaklaşım'dan 16 değişken, 'Global Rekabetçilik Endeksi'nden 7 değişken, 'İnovasyon Birliği Skor Tahtası'ndan 8 değişken, 'Global İnovasyon Endeksi'nden ise 8 değişken kullanarak ele alınmışlardır. Araştırmalarında 'Entropi Temelli Topsis Metodu' uygulanmış olup, Avrupa Birliği'ne aday dört ülke arasında bir sıralama yapmışlardır. Ünlükaplan (2009) ise araştırmasında Kanonik Korelasyon Analizini kullanarak, AB ülkelerinde rekabetçilik, inovasyon ve ekonomik gelişme arasında ilişkiyi incelemiştir.

Bu çalışmada Avrupa Birliği ülkeleri, aday ülkeler ve Türkiye'nin inovasyon performansının çok kriterli karar verme yöntemleriyle kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu amaçla 2018 yılı Avrupa İnovasyon Endeksi değerleri temel alınarak TOPSIS ve MOORA çok kriterli karar verme yöntemleri ile birlikte bahsi geçen ülkelerin inovasyon performansları kıyaslanmıştır. TOPSIS ve MOORA yönteminden elde edilen skorlara göre en iyi performansa sahip ilk üç ve son üç sıradaki ülkelerin belirlenmesi ve Türkiye'nin bu ülkeler arasındaki yerinin ve iyileştirmesi gereken kriterlerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada Avrupa Birliği'ne üye olan 28 ülke, Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 3 aday ülke ve 5 adet komşu ülke ve Avrupa Birliği ortalamasını içeren şekilde ülkelerin inovasyon performansının çok kriterli karar verme yöntemleriyle kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu amaçla 2018 yılı Avrupa İnovasyon Endeksi değerleri temel alınarak TOPSIS ve MOORA çok kriterli karar verme yöntemleri ile ülkelerin inovasyon performansları kıyaslanmıştır. Avrupa İnovasyon Endeksi hesaplamasında kullanılan 10 temel gösterge ile inovasyon performansları analiz edilmiştir. TOPSIS ve MOORA yönteminden elde edilen skorlara göre en iyi performansa sahip ilk üç ve son üç sıradaki ülkelerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Türkiye'nin bu ülkeler arasındaki yerinin belirlenmesi ve değerlendirmesi yapılmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken inovasyon ölçüm kriterlerinin temeli olan Oslo Kılavuzu ışığında hazırlanmış olduğu, Avrupa İnovasyon Endeksi'nin, 2018 yılındaki kitapçığındaki değişkenlerin tamamı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

2.2. Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırmada ülkelerin inovasyon performanslarının değerlendirilmesinde Avrupa İnovasyon Endeksi'nde yer alan 10 temel gösterge eşit ağırlıklı olarak kabul edilmiş, Avrupa Birliği üyesi 28 ülke, Türkiye, Sırbistan ve Makedonya'nın aralarında olduğu aday ülkeler ve İzlanda, İsviçre, Ukrayna, Norveç ve İsrail gibi topluluğa komşu toplamda 36 ülke ve Avrupa Birliği Ortalaması

değerlendirilmiştir. Veriler 2018 yılı Avrupa İnovasyon Endeksi değerleri kullanılarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve MOORA metotları kullanılarak analiz edilmiştir.

2.3. Araştırmanın Yöntemi ve Modeli

Çalışmada, Avrupa İnovasyon Birliği'nin her yıl çıkardığı 'Innovation Scoreboard' (İnovasyon Skortahtası) adı verilen kılavuzdaki verilerin ışığında hazırlanmıştır. Bu kitapçığın araştırmadaki yol haritası olarak kullanılmasının sebebi, 2010 yılından itibaren her yıl düzenli olarak üye ülkelerden, komşu ve aday ülkelerden toplanan nicel verilerle ülkelerin inovasyon performanslarının kıyaslanması sonucu oluşturulan net istatistiksel verilerin mevcut olmasıdır. Yapılan bu çalışmada TOPSIS ve MOORA skorlarının hesaplanmasında kriter olarak kullanılan on temel kriter yer almaktadır. Bunlar; insan kaynakları (İK), araştırma sistemleri (AS), yenilikçi ortam (YO), finansman ve destek (FD), yenilikçiler (Y), bağlantılar (B), entelektüel varlıklar (EV), istihdam etkileri (IE) ve satış etkileri (SE) olarak adlandırılmaktadır.

2.3.1. TOPSIS

Karar verme yöntemlerinden en çok kullanılanlarından biri olan TOPSIS, mevcut alternatifler arasından en iyisini ve optimumun seçilmesine yardımcı olan bir metottur. TOPSIS 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafında geliştirilmiş olup, çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir. TOPSIS kelimesi, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır (Özdemir, 2015, s. 134). Alternatif çözüm noktasının pozitif-ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olacağı varsayımına göre oluşturulmuştur. TOPSIS yöntemi nitel bir çevrim yapılmaksızın, direk veriler üzerinde uygulanabilmektedir (Eleren ve Karagül, 2008, s. 110). TOPSIS, karar vericilerin çözümlemesi gereken problemleri organize etmesine, alternatiflerin analiz edilmesine, sıralanmasına ve kıyaslanmasına yardım etmektedir. Böylece en uygun alternatif seçilmiştir. Metodun aşamaları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. Adım: Karar Matrisinin Oluşturulmasının Sağlanması

Öncelikle satırlar arasındaki üstünlüklerin sıralanmak istenilen alternatiflerin, sütunlarda ise karar vermede esas alınan değerlendirme kriterlerinin yer aldığı karar matrisi oluşturulmaktadır. m alternatif ve n değerlendirme kriterinden oluşturulmuş olan başlangıç matrisi aşağıda gösterilmektedir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mp} \end{bmatrix} \quad \text{Karar Kriterleri}$$

2. Adım: Standart Karar Matrisinin (R) Oluşturulması

Karar matrisi içerisinde yer alan başlangıç değerleri aşağıdaki formül kullanılarak standart karar matrisinin oluşturulması sağlanmaktadır. Karar matrisi oluşturulduktan sonra her bir a_{ij} değerlerinin $(a_{11}, a_{21}, a_{31} \dots a_{m1})$ kareleri alınarak bu değerlerin toplamından oluşan sütun toplamları elde edilir ve her bir a_{ij} değeri ait olduğu sütun toplamının kareköküne bölünür.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i=1, \dots, m \text{ ve } j=1, \dots, p)$$

Karar matrisi içerisindeki tüm başlangıç değerlerinin normalize edilmesi sağlanılarak R ile ifade edilmiş olan standart karar matrisinin oluşturulması sağlanmaktadır.

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1p} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mp} \end{bmatrix}$$

3. Adım: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması

Bu aşamada ilk olarak değerlendirme kriterlerinin ağırlıklı olarak belirlenmesi (w_i) sağlanmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus w_i değer toplamlarının 1'e eşit olmasıdır. Yani $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ olacaktır.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 n_{11} & w_2 n_{12} & \dots & w_n n_{1p} \\ w_1 n_{21} & w_2 n_{22} & \dots & w_n n_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 n_{m1} & w_2 n_{m2} & \dots & w_n n_{mp} \end{bmatrix} \quad i_j = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1p} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mp} \end{bmatrix}$$

Sonrasında R matrisi içerisinde bulunan her bir değer, bağlı olduğu kriterin w_i değeri ile çarpılması sağlanılarak Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (V) oluşturulması sağlanmaktadır.

4.Adım: İdeal (A*) ve Negatif İdeal (A-) Çözümlerin Oluşturulması

TOPSIS Yöntemi içerisinde yapılan her bir değerlendirmenin monoton artan ya da azalan bir eğilim gösterdiği varsayılmaktadır. Bu nedenle V matrisinin her bir sütununda yer alan maksimum değer ideal (A*) çözümü, minimum değer ise Negatif İdeal (A-) çözümü ifade edilmektedir.

$$A^* = \{(\max v_{ij}|j \in J), (\min v_{ij}|j \in J)\}$$

Bu eşitlikten elde edilen $A^* = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ şeklinde gösterilebilmektedir.

$$A^- = \{(\min v_{ij}|j \in J), (\max v_{ij}|j \in J)\}$$

Bu eşitlikten elde edilen $A^- = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ şeklinde gösterilebilmektedir.

5.Adım: Ayrım Ölçütlerinin Hesaplanması

Her bir karar noktasının kriter değerinin elde edilebilmesi için ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklığının hesaplanabilmesi için Euclidian Uzaklık Yaklaşımı'ndan faydalanılmaktadır.

$$\sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

Formülünden faydalanılmaktadır. Burada x_{ik} :i. Gözlemin k. değişken değeri, x_{jk} :j. Gözlemin k. değişken değeri, p: değişken sayısını göstermektedir. Burada her bir alternatifin ideal çözümden uzaklığı ideal ayırım (S_i^*) ve negatif ideal çözümden uzaklığı negatif ideal ayırım (S_i^-) ölçütleri aşağıda görülen formüllerle hesaplanmaktadır.

İdeal uzaklık:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

Negatif ideal uzaklık:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

6. Adım: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

İdeal ve negatif ideal ayırım ölçütlerinin kullanılması sonucunda her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı (C_i^*) hesaplanmaktadır. Her bir alternatif için hesaplanan negatif ideal ayırım ölçütünün toplam ayırım ölçütü ile içerisindeki payı ile ilgili olan alternatifin C_i^* değerini göstermektedir.

C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ Aralığında olarak alternatiflerin C_i^* değerine göre sıralanmaktadır. $C_i^*=1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme mutlak çözüm yakınlığını gösterirken, $C_i^*=0$ ise ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$$

2.3.2. MOORA

2006 yılında Willem Karel M. Brauers ve Edmudas Kazimieras Zavadskas tarafından yapılan çalışmada tanıtılmıştır. Willem Karel M. Brauers ve Edmudas Kazimieras Zavadskas tarafından yapılan 'The MOORA Method And Its Application To Privatization In A Transition Economy' isimli makale çalışması olup MOORA Yöntemi ilk olarak bu çalışmada önerilmiştir. Önerilen bu yeni yöntem, oranların uygulandığı amaçlar için alternatiflerin cevaplarının matrislerini ifade eder. Çok amaçlı optimizasyon için oluşturulmuş diğer yöntem ise karşılaştırma için kullanılan, yani referans noktası yöntemidir (Yıldırım ve Önder, 2015).

Bu çalışmada MOORA metodlarından Referans Nokta Teorisi kullanılmıştır. Ancak bu yaklaşımda MOORA-Oran yöntemi ile elde edilen normalleştirilmiş veriler Referans Nokta Teorisinde esas alınır. MOORA'nın bu teorisini uygularken, her kriter için; amaç maksimizasyon ise maksimum noktalar, amaç minimizasyon ise minimum noktalar olan referans noktaları belirlenir. MOORA yönteminde öncelikle çeşitli nitelikler veya amaçlara ilişkin farklı alternatiflerin performansını gösteren Eşitlik 1 de yer alan karar matrisi oluşturulmaktadır.

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Oran metodunda, $i=1,2,3,\dots,m$ alternatifin sayısı, $j=1,2,3,\dots,n$ kriter sayısı olmak üzere her bir alternatifin karelerinin toplamının karekökü ile kriterler bölünerek normalizasyon işlemi yapılır. Yani, kriterler temelinde alternatiflerin başlangıç verileri normalize edilir. Kriter temelindeki her bir alternatif, o kriterle ilgili bütün alternatifleri temsil eden bir payda (bölen) ile karşılaştırılır. Payda, her kriterin, her bir alternatifte aldığı değerlerin kareler toplamının karekökünü içerir.

x_{ij}^* : i kriteri için j alternatifinin değeri; $j = 1, 2, \dots, m$; m alternatiflerin sayısı; $i = 1, 2, \dots, n$; n kriterlerin sayısı;

x_{ij}^* : i kriteri için j alternatifinin normalize değerini ifade eden boyutsuz (ölçüleri olmayan) sayıdır. Bu işlem aşağıdaki formülle gerçekleştirilir.

$$X_{ij}^* = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

x_{ij}^* ; alternatifin, j .kriter için olan değerinin normalleştirilmiş değeridir. $x_{ij}^* \in [0,1]$ 'dir. Bazı durumlarda $x_{ij}^* \in [-1,1]$ olabilmektedir. Bu normalizasyon işleminden sonra hazırlanan tabloda kriterler maximum veya minimum olmalarına göre belirlenip toplanırlar ve toplanan maximum kriterin değerinden toplanan minimum kriter değeri çıkartılır. Yani $i=1,2,\dots,g$ maksimize edilecek kriterler $j=g+1,g+2,\dots,n$ minimize edilecek kriterler olmak üzere şeklinde yazılabilir.

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g X_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n X_{ij}^*$$

y_i^* ; i alternatifinin tüm kriterlere göre normalleştirilmiş değerlendirilmesidir.

y_i^* 'lerin sırasıyla işlem tamamlanmış olur.

Adım 1: Amaçların ve seçeneklerin performans değerlerinin belirlenmesi. Amaçların belirlenmesi ve farklı seçeneklerin farklı amaçlara göre performans değerlerinin bir matriste toplanması ile başlar.

Adım 2: Matrisin normalleştirilmesi. Matrisin normalleştirilmesi ölçütlerin maksimizasyon ya da minimizasyon yönlü olup olmadığına bakılmaksızın yapılır.

Adım 3: Normalleştirilmiş maksimizasyon performans değerleri toplamından minimizasyon performans değerleri toplamı çıkarılır.

g , maksimize edilecek amaçların sayısını, $(n-g)$, minimize edilecek amaçların sayısını ve y_i^* ise i . seçeneğin tüm amaçlara göre normalleştirilmiş değerini ifade etmektedir. y_i^* değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. y_i^* sıralamasına göre birinci sıradaki seçenek en uygun seçenek olarak belirlenir.

Referans nokta metodu:

Referans noktası yaklaşımında seçeneklerin her bir amaca göre maksimizasyon durumunda en iyi değeri, minimizasyon durumunda ise en düşük değeri referans noktası r_j olarak belirlenir. Belirlenen bu noktaların, x_{ij}^* ile olan uzaklıkları bulunur. Yani,

$$r_j - x_{ij}^*$$

işlemi yapılır ve matris olarak yazılır.

Buradan;

x_{ij}^* , i . Alternatifin j . Kriterdeki normalleştirilmiş değerini,

r_j , j . Kriterin referans noktasını göstermektedir.

Yeni matris, 'Tchebycheff Min-Maks Metrik' işlemi uygulanır

$$\min_i \{ \max_j (|r_j - x_{ij}^*|) \} .$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. TOPSIS ve MOORA Analiz Sonuçları

36 ülkenin ve Avrupa Birliği'nin ortalama değerlerinin yer aldığı, toplam 10 kriter eşit ağırlıklı olarak kabul edilerek ve 37 alternatifin yer aldığı matris oluşturularak ve 2018 yılı Avrupa İnovasyon Endeksi skorları baz alınarak yapılan çalışmada TOPSIS analizi sonuçları Tablo.2'de sunulmuştur. Araştırmada kullanılan Avrupa İnovasyon Performanslarının Skorları 2018 yılı verileri Tablo 5.'te yer almaktadır.

Tablo 2. TOPSIS Analizi Sonuçları

NO	ÜLKELER	di-	di+	ci	Sıra	NO	ÜLKELER	di-	di+	ci	Sıra
1	İsviçre	0,08	0,02	0,8365	1	20	Çekya	0,04	0,05	0,4235	20
2	İsveç	0,07	0,02	0,7635	2	21	Estonya	0,04	0,05	0,4185	21
3	Danimarka	0,07	0,03	0,692	3	22	İspanya	0,04	0,05	0,4149	22
4	Finlandiya	0,06	0,03	0,6841	4	23	Kıbrıs	0,04	0,06	0,3847	23
5	Hollanda	0,06	0,03	0,6738	5	24	Litvanya	0,04	0,06	0,3798	24
6	İzlanda	0,06	0,04	0,6375	6	25	İtalya	0,03	0,06	0,3768	25
7	Luxemburg	0,06	0,03	0,6374	7	26	Macaristan	0,03	0,06	0,3512	26
8	Birleşik Krallık	0,06	0,03	0,6289	8	27	Sırbistan	0,03	0,06	0,3346	27
9	Almanya	0,06	0,03	0,6269	9	28	Yunanistan	0,03	0,06	0,3321	28
10	Belçika	0,06	0,04	0,6112	10	29	Slovakya	0,03	0,06	0,3304	29
11	Norveç	0,06	0,04	0,6003	11	30	Letonya	0,03	0,06	0,3255	30
12	Avusturya	0,06	0,04	0,5971	12	31	Türkiye	0,03	0,07	0,3132	31
13	İsrail	0,06	0,04	0,5933	13	32	Polonya	0,03	0,07	0,2922	32
14	İrlanda	0,06	0,04	0,5894	14	33	Hırvatistan	0,02	0,07	0,2663	33
15	Fransa	0,05	0,04	0,5741	15	34	Bulgaristan	0,02	0,07	0,2529	34
16	Avrupa Birliği Ort.	0,05	0,04	0,5279	16	35	Makedonya	0,02	0,07	0,1957	35
17	Slovenya	0,04	0,05	0,4701	17	36	Ukrayna	0,02	0,08	0,1955	36
18	Malta	0,05	0,06	0,4492	18	37	Romanya	0,02	0,08	0,1614	37
19	Portekiz	0,04	0,05	0,429	19						

Tablo 2’de görüldüğü üzere her bir karar noktasının ideal çözüme yakınlığının hesaplanmasında ideal ve ideal olmayan uzaklıklardan yararlanılmış ve ideal çözüme yakınlık değerleri tespit edilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere, TOPSIS metodu uygulaması sonucu ülkelerin inovasyon performans sıralamasında en iyi puanlamaya sahip ilk üç ülke sırasıyla; AB üyesi olmayan İsviçre, AB üyesi ve ‘İnovasyonda Lider’ ülkelerden olan İsveç ve Finlandiya’dır. Bu değerlendirmeye göre son üç ülke ise Ukrayna, Romanya ve aday ülkelerden Makedonya’dır. Türkiye ise bu sıralamada gerilerde kalmış olup, 31. sırada yer almaktadır. Aslında bu sıralamada yer alan AB’ye üye Sırbistan, Bulgaristan, Polonya, Hırvatistan gibi ülkelerden Türkiye’nin daha iyi olduğu gözlemlenmektedir. MOORA analizi sonuçları ise Tablo.3’de yer almaktadır.

Tablo 3. MOORA Analizi Sonuçları

NO	ÜLKELER	MAKSİMUM REFERANS NOKTASI	Referans Nokta Yak. Sıralama	NO	ÜLKELER	MAKSİMUM REFERANS NOKTASI	Referans Nokta Yak. Sıralama
1	İsveç	0,10	1	20	İspanya	0,23	20
2	İsviçre	0,10	2	21	İtalya	0,25	21
3	Danimarka	0,16	3	22	Yunanistan	0,25	22
4	Finlandiya	0,16	4	23	Estonya	0,25	23
5	Birleşik Krallık	0,17	5	24	Slovakya	0,25	24
6	İsrail	0,17	6	25	Malta	0,26	25
7	Avusturya	0,17	7	26	Sırbistan	0,26	26
8	Belçika	0,18	8	27	Kıbrıs	0,27	27
9	Avrupa Birliği Ort.	0,18	9	28	Hırvatistan	0,27	28
10	İrlanda	0,18	10	29	Macaristan	0,27	29
11	Almanya	0,18	11	30	Letonya	0,27	30
12	İzlanda	0,19	12	31	Litvanya	0,27	31
13	Slovenya	0,19	13	32	Bulgaristan	0,28	32
14	Fransa	0,19	14	33	Türkiye	0,28	33
15	Norveç	0,20	15	34	Makedonya	0,29	34
16	Çekya	0,21	16	35	Polonya	0,29	35
17	Luxemburg	0,22	17	36	Ukrayna	0,30	36
18	Portekiz	0,22	18	37	Romanya	0,32	37
19	Hollanda	0,22	19				

Tablo 3’de sunulan MOORA yöntemi sonuçlarına göre ilk üç sırada sırasıyla, İsveç, İsviçre ve Danimarka’nın yer aldığı görülmektedir. Son üç sırada ise, AB üyesi Romanya, komşu ülke Ukrayna ve yine bir AB ülkesi olan Polonya bulunmaktadır. Türkiye sıralamada, 33. Sırada yer alarak inovasyon performansı oldukça gerilerde kalmıştır.

Her iki yönteme göre hesaplanan ülke skorları bu bölümde inovasyon endeksi değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçların normal dağıldığı görülmüş olup, sonuçların birbirleriyle ilişkili olup olmadığını belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi yapılmıştır.

Korelasyon katsayısı [-1;+1] aralığında değer almaktadır. İnovasyon endeksi sonucu değeri ve MOORA Topsis yöntemleri sonucu elde edilen skorların korelasyon katsayıları Tablo 4'te hesaplanmıştır. Buna göre TOPSIS yöntemiyle elde edilen inovasyon endeksi skorları ile MOORA yöntemiyle elde edilen inovasyon endeksi skorları karşılaştırıldığında korelasyon katsayısı -0,929 olarak hesaplanmıştır. İki yöntem arasında ters yönlü çok güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür. Sonuç olarak elde edilen katsayıların her iki yöntemde de birbiriyle çok güçlü ilişkili olması, sıralamaların yöntemler arasında da benzerlik gösterdiği şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 4. Çok Nitelikli Karar Verme Teknikleri Çıktılarının İnovasyon Endeksi Karşılaştırmasında Korelasyon Katsayıları

Pearson Correlation	-,929**
Sig. (2-tailed)	,000
N	36

4. Sonuç

Avrupa İnovasyon Endeksi'ne ve bu endekste yer alan değişkenlerin seviyelerine göre ülkelerinin inovasyon performansları ekonomi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu değerlere göre ülkelerin gelişmişlik ve inovatif düzeyleri hakkında bilgi edinilmektedir. Dünyada ülkelerin rekabetçi olması, verim, ürün ve hizmet kalitesinin yüksek olmasıyla birlikte satış etkinliği, istihdam edilen personellerin niteliği ve gelişimi, araştırma sistemleri, sağlanan finansman ve destekler, yapılan yenilikler ve sunulan ortamlar yenilikler gibi birçok kritere bağlıdır. Ülkelerin inovasyona yönelik mevcut durumlarını analiz ederek, iyileştirmeleri gereken kriterleri önceliklendirmeleri gerekmektedir. Ancak bu sayede uluslararası platformlarda rekabet edebilir düzeye ulaşabileceklerdir.

Bu araştırmanın amacı; çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve MOORA yöntemleri kullanılarak Avrupa Birliği'ne üye olan 28 ülke, Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 3 aday, 5 komşu ülke ve Avrupa Birliği ortalamasını da içerek şekilde ülkelerin inovasyon performansının kıyaslanmasıdır. Bu kapsamda 2018 yılı Avrupa İnovasyon Endeksi verileri kullanılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre her iki yöntemde de performans düzeyi en yüksek olan üç ülke İsveç, İsviçre ve Danimarka olarak tespit edilmiştir. Son üç ülkeye bakıldığında ise TOPSIS yöntemine göre Romanya, Makedonya ve Ukrayna, MOORA yöntemine göre ise son üç ülke arasında Ukrayna yerine Polonya görülmektedir. Avrupa İnovasyon Endeksi'ne göre verileri incelendiğinde Türkiye'nin sıralamalardaki yerine bakıldığında; TOPSIS Yöntemi'ne göre 31. Sırada, MOORA Yöntemi'ne göre ise 32. sırada yer almaktadır. Türkiye'nin inovasyon performansında alt sıralarda yer almasında ana ve ana göstergeleri oluşturan alt göstergeler incelenmelidir. Analiz kapsamında ele alınan temel göstergelerden insan kaynaklarında 35., entelektüel varlıklarda 36. ve satışın etkilerinde 35. sırada yer alarak ülke sıralamalarında gerilerde kaldığı görülmektedir. Bu göstergelerin alt kriterlerini ise doktora mezunu sayısı, yükseköğretimdeki öğrenci popülasyonu ve hayat boyu öğrenme prosesi, patent uygulamaları, ticari marka uygulamaları, tasarım uygulamaları, orta ve ileri seviye teknoloji ürünlerinin ihracı, bilgi yoğun hizmetlerin ihracı ve yeni pazar-firma yeniliklerinin satışı oluşturmaktadır. Bu alt başlıklara özellikle odaklanılarak iyileştirilmesi için efor sarf edilmelidir. Türkiye'nin inovasyon performansına alt kriter bazı sıralamalarda bakıldığında ise; ilk on ülke arasında olduğu tek temel kriter 'firma yatırımları' olmuştur. Firma yatırımlarının alt göstergeleri ise özel sektördeki Ar-Ge harcamaları, Ar-Ge dışı harcamaları ve bilgi, iletişim, teknoloji eğitimi veren kurumlar olarak belirtilmektedir. Bu doğrultuda ülke sıralamalarına göre Türkiye'nin inovasyon performansının artırması için inovasyon performansını oluşturan tüm kriterlere ağırlık vermesi gerektiği görülmüştür. Öncelik vermesi gereken alt göstergeler ise doktora mezunu sayısı, yükseköğretimdeki öğrenci popülasyonu ve hayat boyu öğrenme prosesi, patent uygulamaları, ticari marka uygulamaları, tasarım uygulamaları, orta ve ileri seviye teknoloji ürünlerinin ihracı, bilgi yoğun hizmetlerin ihracı ve yeni pazar-firma yeniliklerinin satışı kriterleridir.

Ayrıca, Türkiye açısından ele alındığında, bu tarz çalışmaların artması, özellikle inovasyon konusunda sadece Avrupa ülkeleri ile değil küresel çapta alanında en iyi ülkelerle yapılacak kıyaslamalarla mevcut durum tespitlerinin yapılması, hangi parametrelerde eksiklerin olduğu daha detaylı bir şekilde tespit edilmelidir. Bu konuda oluşturulacak bir ulusal inovasyon stratejisi ekonomik ve toplumsal hedeflere ulaşmada ivme kazandıracaktır.

Tablo 5. Avrupa İnovasyon Performanslarının Skorları 2018 Yılı Tablosu

NO	ÜLKELER	İK	AS	YO	FD	FY	Y	B	EV	IE	SE
1	AB	119,3	113,6	133,8	107,7	111,8	86,0	101,0	100,9	100,6	104,1
2	Belçika	127,1	191,0	143,5	107,4	149,5	138,8	163,4	84,3	78,9	78,3
3	Bulgaristan	64,7	31,8	70,7	22,7	57,5	12,3	32,3	86,6	103,0	34,3
4	Çekya	93,5	82,4	106,0	50,9	116,2	74,1	78,4	63,2	115,7	98,7
5	Danimarka	219,8	206,4	264,6	110,5	122,0	96,3	132,6	167,3	101,0	78,2
6	Almanya	112,6	104,8	134,7	109,8	174,8	131,3	126,4	148,9	100,9	119,4
7	Estonya	123,9	101,8	138,9	96,5	75,4	24,3	76,3	111,6	74,9	65,4
8	İrlanda	167,9	160,8	129,3	81,6	104,5	146,3	90,0	47,3	165,7	132,9
9	Yunanistan	84,4	102,3	54,0	41,7	61,2	101,3	91,1	35,4	69,2	47,4
10	İspanya	141,6	98,7	143,5	86,4	75,8	36,2	69,3	72,9	90,7	76,6
11	Fransa	148,5	146,8	135,8	152,2	97,9	104,4	102,4	86,8	92,5	109,6
12	Hırvatistan	53,7	42,3	54,4	40,2	108,1	62,0	67,2	29,8	69,0	26,7
13	İtalya	65,2	99,4	84,6	59,4	64,5	90,8	57,1	104,3	74,8	77,0
14	Kıbrıs	114,2	118,7	61,0	45,8	60,6	87,0	60,4	115,5	61,1	76,1
15	Letonya	79,8	55,8	141,2	107,4	37,5	12,7	44,3	48,8	94,1	46,3
16	Litvanya	115,5	39,5	164,5	64,0	104,2	79,7	103,0	51,5	39,6	36,6
17	Luxemburg	150,3	224,8	192,0	134,3	77,1	122,3	62,8	154,4	139,4	88,2
18	Macaristan	54,6	66,4	117,9	50,0	87,5	15,1	70,2	39,5	124,9	99,0
19	Malta	66,5	161,0	165,4	7,5	79,8	67,9	11,9	168,3	140,5	56,8
20	Hollanda	174,4	207,5	213,3	140,2	85,4	109,5	152,6	127,7	115,9	95,5
21	Avusturya	134,6	157,4	116,0	98,8	150,7	122,1	144,9	147,5	66,0	82,8
22	Polonya	72,2	33,4	127,2	33,2	90,6	2,9	37,9	75,2	92,5	55,3
23	Portekiz	100,0	120,9	178,2	70,1	83,5	99,9	54,9	74,0	82,8	44,9
24	Romanya	22,5	29,7	96,8	22,4	13,3	0,0	38,1	22,5	34,7	66,6
25	Slovenya	171,4	102,5	117,3	36,0	135,3	82,2	113,4	80,9	75,8	78,1
26	Slovakya	92,6	57,4	79,3	29,7	63,7	29,2	68,7	35,6	119,2	105,4
27	Finlandiya	197,1	156,6	245,7	118,7	148,1	121,7	133,9	148,1	83,9	80,8
28	İsveç	214,3	200,6	254,8	120,1	176,5	109,1	132,3	158,0	132,1	85,5
29	Birleşik Krallık	180,6	196,8	123,4	115,8	113,9	85,6	134,8	82,3	144,8	128,3
30	İzlanda	150,3	188,1	264,6	122,3	134,5	123,6	158,2	57,8	147,1	36,6
31	İsrail	105,1	130,6	112,3	45,6	243,9	74,6	141,2	103,2	186,1	95,9
32	Makedonya	42,8	76,2	53,7	32,8	69,7	55,0	44,1	14,3	6,5	46,3
33	Norveç	171,1	166,4	192,7	147,0	139,6	119,7	137,5	45,2	95,4	51,9
34	Sırbistan	76,5	37,2	24,8	40,6	132,3	72,3	94,9	24,4	94,0	60,9
35	İsviçre	236,4	251,6	193,9	126,4	234,8	160,7	142,1	164,7	118,1	114,6
36	Ukrayna	131,6	22,3	5,5	16,7	44,8	16,0	9,6	13,4	77,9	32,8
37	Türkiye	37,5	43,3	112,5	56,7	140,8	83,8	64,3	9,0	10,8	55,9

Tablo 6. Normalize Matrisin Elde Edilmesi

NO	ÜLKELER	İK	AS	YO	FD	FY	Y	B	EV	IE	SE
1	Avrupa Birliği	0,15	0,15	0,15	0,17	0,16	0,15	0,17	0,17	0,16	0,21
2	Belçika	0,15	0,25	0,17	0,18	0,21	0,25	0,29	0,15	0,12	0,16
3	Bulgaristan	0,09	0,04	0,09	0,03	0,08	0,02	0,03	0,17	0,16	0,07
4	Çekya	0,12	0,11	0,12	0,16	0,16	0,13	0,11	0,11	0,15	0,20
5	Danimarka	0,28	0,26	0,29	0,24	0,17	0,17	0,21	0,26	0,16	0,16
6	Almanya	0,15	0,14	0,14	0,21	0,25	0,24	0,24	0,23	0,16	0,24
7	Estonya	0,15	0,12	0,14	0,26	0,11	0,04	0,11	0,17	0,11	0,13
8	İrlanda	0,19	0,19	0,14	0,12	0,16	0,26	0,13	0,11	0,27	0,27
9	Yunanistan	0,11	0,13	0,04	0,10	0,09	0,18	0,15	0,07	0,11	0,10
10	İspanya	0,15	0,12	0,16	0,13	0,11	0,06	0,10	0,14	0,12	0,17
11	Fransa	0,19	0,19	0,15	0,20	0,14	0,19	0,17	0,15	0,15	0,22
12	Hırvatistan	0,10	0,05	0,06	0,11	0,15	0,11	0,09	0,07	0,10	0,05
13	İtalya	0,09	0,12	0,09	0,10	0,09	0,16	0,08	0,18	0,11	0,16
14	Kıbrıs	0,14	0,15	0,07	0,10	0,07	0,16	0,08	0,19	0,10	0,13
15	Letonya	0,12	0,05	0,20	0,16	0,06	0,02	0,08	0,09	0,13	0,10
16	Litvanya	0,15	0,04	0,18	0,20	0,14	0,14	0,20	0,09	0,11	0,07
17	Luxemburg	0,18	0,28	0,22	0,14	0,11	0,22	0,08	0,29	0,22	0,19
18	Macaristan	0,08	0,07	0,12	0,09	0,12	0,03	0,11	0,08	0,20	0,20
19	Malta	0,08	0,11	0,14	0,05	0,09	0,12	0,03	0,28	0,25	0,10
20	Hollanda	0,21	0,26	0,21	0,24	0,11	0,20	0,29	0,19	0,20	0,19
21	Avusturya	0,17	0,20	0,14	0,20	0,23	0,22	0,24	0,24	0,12	0,17
22	Polonya	0,10	0,04	0,11	0,11	0,12	0,00	0,05	0,13	0,14	0,11
23	Portekiz	0,14	0,15	0,20	0,17	0,12	0,18	0,07	0,13	0,11	0,09
24	Romanya	0,06	0,04	0,11	0,04	0,02	-	0,05	0,04	0,06	0,13
25	Slovenya	0,21	0,13	0,15	0,08	0,20	0,14	0,19	0,16	0,12	0,16
26	Slovakya	0,12	0,07	0,09	0,15	0,10	0,05	0,11	0,07	0,18	0,22
27	Finlandiya	0,25	0,20	0,25	0,26	0,20	0,22	0,23	0,23	0,13	0,15
28	İsveç	0,28	0,25	0,28	0,25	0,24	0,20	0,21	0,23	0,22	0,18
29	Birleşik Krallık	0,23	0,25	0,13	0,18	0,17	0,15	0,23	0,15	0,24	0,27
30	İzlanda	0,19	0,24	0,29	0,26	0,20	0,23	0,27	0,13	0,24	0,09
31	İsrail	0,13	0,17	0,13	0,10	0,34	0,13	0,17	0,23	0,30	0,20
32	Makedonya	0,06	0,03	0,08	0,01	0,10	0,12	0,08	0,02	0,01	0,15
33	Norveç	0,22	0,21	0,26	0,22	0,19	0,22	0,22	0,09	0,17	0,10
34	Sırbistan	0,10	0,06	0,05	0,09	0,18	0,15	0,08	0,04	0,15	0,13
35	İsviçre	0,30	0,32	0,20	0,22	0,30	0,29	0,28	0,26	0,20	0,23
36	Ukrayna	0,08	0,02	-	0,04	0,07	0,03	0,01	0,04	0,12	0,07
37	Türkiye	0,06	0,04	0,14	0,15	0,20	0,15	0,11	0,04	0,02	0,10

Tablo.7 MOORA Yöntemine Göre Toplam Performans Değeri Hesaplama

NO	ÜLKELER	İK	AS	YO	FD	FY	Y	B	EV	IE	SE
1	Avrupa Birliği	0,15	0,14	0,15	0,20	0,16	0,16	0,17	0,17	0,16	0,21
2	Belçika	0,16	0,24	0,16	0,20	0,21	0,25	0,27	0,14	0,13	0,16
3	Bulgaristan	0,08	0,04	0,08	0,04	0,08	0,02	0,05	0,15	0,17	0,07
4	Çekya	0,12	0,10	0,12	0,10	0,16	0,13	0,13	0,11	0,19	0,20
5	Danimarka	0,28	0,26	0,29	0,21	0,17	0,17	0,22	0,28	0,16	0,16
6	Almanya	0,14	0,13	0,15	0,21	0,24	0,24	0,21	0,25	0,16	0,25
7	Estonya	0,16	0,13	0,15	0,18	0,11	0,04	0,13	0,19	0,12	0,13
8	İrlanda	0,21	0,20	0,14	0,15	0,15	0,27	0,15	0,08	0,27	0,27
9	Yunanistan	0,11	0,13	0,06	0,08	0,09	0,18	0,15	0,06	0,11	0,10
10	İspanya	0,18	0,12	0,16	0,16	0,11	0,07	0,11	0,12	0,15	0,16
11	Fransa	0,19	0,18	0,15	0,29	0,14	0,19	0,17	0,15	0,15	0,23
12	Hırvatistan	0,07	0,05	0,06	0,08	0,15	0,11	0,11	0,05	0,11	0,05
13	İtalya	0,08	0,12	0,09	0,11	0,09	0,16	0,09	0,18	0,12	0,16
14	Kıbrıs	0,14	0,15	0,07	0,09	0,08	0,16	0,10	0,20	0,10	0,16
15	Letonya	0,10	0,07	0,16	0,20	0,05	0,02	0,07	0,08	0,15	0,10
16	Litvanya	0,15	0,05	0,18	0,12	0,15	0,14	0,17	0,09	0,06	0,08
17	Luxemburg	0,19	0,28	0,21	0,25	0,11	0,22	0,10	0,26	0,22	0,18
18	Macaristan	0,07	0,08	0,13	0,09	0,12	0,03	0,12	0,07	0,20	0,20
19	Malta	0,08	0,20	0,18	0,01	0,11	0,12	0,02	0,29	0,23	0,12
20	Hollanda	0,22	0,26	0,24	0,26	0,12	0,20	0,25	0,22	0,19	0,20
21	Avusturya	0,17	0,19	0,13	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,11	0,17
22	Polonya	0,09	0,04	0,14	0,06	0,13	0,01	0,06	0,13	0,15	0,11
23	Portekiz	0,13	0,15	0,20	0,13	0,12	0,18	0,09	0,13	0,13	0,09
24	Romanya	0,03	0,04	0,11	0,04	0,02	-	0,06	0,04	0,06	0,14
25	Slovenya	0,22	0,13	0,13	0,07	0,19	0,15	0,19	0,14	0,12	0,16
26	Slovakya	0,12	0,07	0,09	0,06	0,09	0,05	0,11	0,06	0,19	0,22
27	Finlandiya	0,25	0,19	0,27	0,22	0,21	0,22	0,22	0,25	0,13	0,17
28	İsveç	0,27	0,25	0,28	0,23	0,25	0,20	0,22	0,27	0,21	0,18
29	Birleşik Krallık	0,23	0,24	0,14	0,22	0,16	0,16	0,22	0,14	0,23	0,26
30	İzlanda	0,19	0,23	0,29	0,23	0,19	0,22	0,26	0,10	0,24	0,08
31	İsrail	0,13	0,16	0,12	0,09	0,34	0,14	0,23	0,18	0,30	0,20
32	Makedonya	0,05	0,09	0,06	0,06	0,10	0,10	0,07	0,02	0,01	0,10
33	Norveç	0,22	0,21	0,21	0,28	0,19	0,22	0,23	0,08	0,15	0,11
34	Sırbistan	0,10	0,05	0,03	0,08	0,18	0,13	0,16	0,04	0,15	0,13
35	İsviçre	0,30	0,31	0,22	0,24	0,33	0,29	0,23	0,28	0,19	0,24
36	Ukrayna	0,17	0,03	0,01	0,03	0,06	0,03	0,02	0,02	0,12	0,07
37	Türkiye	0,05	0,05	0,13	0,11	0,20	0,15	0,11	0,02	0,02	0,11

Tablo 8. MOORA Yöntemine Göre Toplam Performans Değerlerinin Sıralanması

NO	ÜLKELER	İK	AS	YO	FD	FY	Y	B	EV	IE	SE	İK	Referans Nok.Yak.
1	Avrupa Birliği	0,15	0,17	0,15	0,08	0,18	0,14	0,10	0,11	0,14	0,06	0,18	8
2	Belçika	0,14	0,08	0,13	0,08	0,13	0,04	-	0,14	0,17	0,11	0,17	5
3	Bulgaristan	0,22	0,27	0,22	0,24	0,26	0,27	0,22	0,14	0,13	0,20	0,27	30
4	Çekya	0,18	0,21	0,18	0,19	0,18	0,16	0,14	0,18	0,11	0,07	0,21	15
5	Danimarka	0,02	0,06	-	0,08	0,17	0,12	0,05	0,00	0,14	0,11	0,17	4
6	Almanya	0,16	0,18	0,14	0,08	0,10	0,05	0,06	0,03	0,14	0,03	0,18	7
7	Estonya	0,14	0,19	0,14	0,10	0,23	0,25	0,14	0,10	0,18	0,14	0,25	21
8	İrlanda	0,09	0,11	0,15	0,13	0,19	0,03	0,12	0,21	0,03	-	0,21	13
9	Yunanistan	0,19	0,18	0,23	0,21	0,25	0,11	0,12	0,23	0,19	0,18	0,25	24
10	İspanya	0,12	0,19	0,13	0,12	0,23	0,23	0,15	0,16	0,15	0,12	0,23	19
11	Fransa	0,11	0,13	0,14	-	0,20	0,10	0,10	0,14	0,15	0,05	0,20	12
12	Hırvatistan	0,23	0,26	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,24	0,19	0,22	0,26	26
13	İtalya	0,22	0,19	0,20	0,17	0,25	0,13	0,18	0,11	0,18	0,11	0,25	22
14	Kıbrıs	0,15	0,16	0,23	0,20	0,26	0,13	0,17	0,09	0,20	0,12	0,26	25
15	Letonya	0,20	0,24	0,14	0,08	0,29	0,27	0,20	0,20	0,15	0,18	0,29	34
16	Litvanya	0,15	0,26	0,11	0,17	0,19	0,15	0,10	0,20	0,23	0,20	0,26	27
17	Luxemburg	0,11	0,03	0,08	0,03	0,23	0,07	0,17	0,02	0,07	0,09	0,23	20
18	Macaristan	0,23	0,23	0,16	0,19	0,22	0,26	0,15	0,22	0,10	0,07	0,26	28
19	Malta	0,21	0,11	0,11	0,27	0,23	0,17	0,25	-	0,07	0,16	0,27	31
20	Hollanda	0,08	0,05	0,06	0,02	0,22	0,09	0,02	0,07	0,11	0,08	0,22	16
21	Avusturya	0,13	0,12	0,17	0,10	0,13	0,07	0,03	0,04	0,19	0,10	0,19	9
22	Polonya	0,21	0,27	0,15	0,22	0,21	0,29	0,21	0,16	0,15	0,16	0,29	33
23	Portekiz	0,17	0,16	0,10	0,15	0,22	0,11	0,18	0,16	0,17	0,18	0,22	18
24	Romanya	0,27	0,27	0,19	0,24	0,32	0,29	0,21	0,25	0,24	0,14	0,32	37
25	Slovenya	0,08	0,18	0,16	0,22	0,15	0,14	0,08	0,15	0,18	0,11	0,22	17
26	Slovakya	0,18	0,24	0,21	0,23	0,25	0,24	0,16	0,23	0,11	0,06	0,25	23
27	Finlandiya	0,05	0,12	0,02	0,06	0,13	0,07	0,05	0,03	0,16	0,11	0,16	3
28	İsveç	0,03	0,06	0,01	0,06	0,09	0,09	0,05	0,02	0,09	0,10	0,10	1
29	Birleşik Krallık	0,07	0,07	0,16	0,07	0,18	0,14	0,05	0,15	0,07	0,01	0,18	6
30	İzlanda	0,11	0,08	-	0,06	0,15	0,07	0,01	0,19	0,06	0,20	0,20	10
31	İsrail	0,17	0,15	0,17	0,20	-	0,16	0,04	0,11	-	0,08	0,20	11
32	Makedonya	0,24	0,22	0,23	0,22	0,24	0,19	0,20	0,26	0,29	0,18	0,29	36
33	Norveç	0,08	0,11	0,08	0,01	0,15	0,07	0,04	0,21	0,15	0,17	0,21	14
34	Sırbistan	0,20	0,27	0,27	0,21	0,16	0,16	0,11	0,24	0,15	0,15	0,27	29
35	İsviçre	-	-	0,08	0,05	0,01	-	0,04	0,01	0,11	0,04	0,11	2
36	Ukrayna	0,13	0,28	0,29	0,25	0,28	0,26	0,25	0,26	0,17	0,21	0,29	35
37	Türkiye	0,25	0,26	0,17	0,18	0,14	0,14	0,16	0,27	0,28	0,16	0,28	32

Kaynakça

- Adıgüzel, B. (2012). *İnovasyon ve inovasyon yönetimi: Steve Jobs örneği*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Atik, H. ve Özbek, H. (2012). İnovasyon göstergeleri bakımından Türkiye'nin Avrupa Birliği ülkeleri arasındaki yeri: İstatistiksel bir analiz. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 42, 193-210.
- Autant-Bernard, C., Chalaye, S., Manca, F., Moreno, R. ve Surinach, J. (2010). Measuring the adoption of innovation a typology of EU countries based on the innovation survey. *Innovation: the European Journal of Social Science Research*, 23, 199-222.
- Eleren, A. ve Karagül, M. (2008). "1986-2006 Türkiye ekonomisi performans değerlendirmesi" *Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 15 (1), 110-111.
- Ettlie, J. E., Bridges, W. P. ve O'Keefe, R. D. (1984). Organization strategy and structural differences for radical vs. incremental innovation. *Management Science*, 30, 682-695.

- Fernández-Ribas, A. (2010). International patent strategies of small and large firms: An empirical study of nanotechnology. *Review of Policy Research*, 27, 55.
- Işık, C. ve Keskin, G. (2013). Bilgi ekonomilerinde rekabet üstünlüğü oluşturulması açısından inovasyonun önemi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 27(1), 41-57.
- İnel, M. N. ve Türker, M. V. (2016). Ulusal inovasyon performansının ölçümü için çok nitelikli karar verme teknikleri ile bir model denemesi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 38(2), 147-166.
- Jungmittag, A. (2004). Innovations, technological specialization and economic growth in the EU. *International Economics and Economic Policy*, 1 (2-3), 247-273.
- Karaata, S. (2012). *İnovasyon ölçümünde yeni arayışlar*, İstanbul: TÜSİAD- Sabancı Üniversitesi Rekabet Formu.
- Kaynak, S., Altuntaş, S. ve Dereli, T. (2017). Comparing the innovation performance of EU candidate countries: An entropy-based TOPSIS approach. *Economic Research*, 30(1), 31-54.
- Löf, H., Heshmati, A., ve Naas, R. A.O. (t.y.). Innovation and performance in manufacturing industries: A comparison of the Nordic countries. *SSE/EFI Working Paper Series in Economics and Finance*, (457), 119-120.
- Mercan, B., Gömleksiz, M. (2013). Bölgesel kalkınmada inovasyon sistemleri yaklaşımı: Kop bölgesi üzerine bir inceleme. *UNİKOP 1. Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*. 4-9. <http://unikop.org/makale/KS13-7-08.pdf>. Erişim tarihi: 23.04.2018
- Nafgizer, E. W. (2006). *Economic development* (4th ed.). Cambridge; Cambridge University.
- Oslo, M. (2006). The measurement of scientific and technological activities. Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data. European Commission and Eurostat-Manual de Oslo-Diretrizes Para Coleta E Interpretação De Dados Sobre Inovação. Traduzido pela FINEP.
- Oprean, C., ve Tănăsescu, C. (2007). The convergence degree of innovation potential of Romanian economy, by comparison with the developed economies of the EU Member States. *The Romanian Economic Journal*, 25, 285-304.
- Örücü, E., Kılıç, R. ve Savaş, A. (2011). KOBİ'lerde inovasyon stratejileri ve inovasyon yapmayı etkileyen faktörler: bir uygulama. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 12 (1), 58-73.
- Özdemir, M. (2015). *TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Bursa: Dora Basım-Yayım.
- Paas, T., ve Poltimäe, H. (2010). A comparative analysis of national innovation performance: The Baltic states in the EU context. University of Tartu Faculty of Economics and Business Administration. <http://ssrn.com/abstract=1722717> doi:10.2139/ssrn.1722717 Erişim Tarihi: 30.04.2018
- Pan, T. W., Hung, S. W., ve Lu, W. M. (2010). Dea performance measurement of the national innovation system in Asia and Europe. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 27, 369-392.
- Suurna, M., ve Kattel, R. (2010). Europeanization of innovation policy in central and eastern Europe. *Science and Public Policy*, 37, 646-664.
- Şahinli, M. A., ve Kılınç, E. (2013). İnovasyon ve inovasyon göstergeleri: ab ülkeleri ve türkiye karşılaştırması. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 13(25), 329-356.
- Tokumasu, S., ve Watanabe, C. (2008). Institutional structure leading to the similarity and disparity in innovation inducement in EU 15 countries-finnish conspicuous achievement triggered by Nokia's IT driven global business. *Journal of Services Research*, 8, 1-38.
- Uğur, L. O. (2017). MOORA optimizasyon yaklaşımı ile inşaat proje müdürü seçimi: Çok kriterli bir karar verme uygulaması. *Politeknik Dergisi*, 20(3), 717-723.
- Urfaloğlu, F. ve Genç, T. (2013). Çok kriterli karar verme teknikleri ile Türkiye'nin ekonomik performansının Avrupa birliği üye ülkeleri ile karşılaştırılması. *Marmara Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 35 (2), 329-360.
- Uzgören, E., Elevli, B. (2011). Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle Türkiye ve AB ülkelerinin Ar-Ge ve inovasyon göstergeleri yönünden sınıflandırılması. *Dumlupınar Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Akademik Platform Dergisi*, 34-67.
- Ünlükaplan, İ. (2009). The spesification of the relationship between economic development, competitiveness and innovation in European union using canonical correlation analysis. *Maliye Journal*, 157, 235-250.
- Yıldırım, B. F. ve Önder E. (2015). *Çok kriterli karar verme yöntemleri*. Bursa. Dora Yayınları, 245-250.



Optimization of the Production of Biodiesel from Beef Tallow Applying Ultrasound Technology

Tuba Hatice Doğan^{1*}, Özlem Karagöz¹

^{1*} Atatürk University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Department, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0001-8369-9416)

¹ Atatürk University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Department, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0003-0031-1861)

(First received 11 June 2019 and in final form 1 July 2019)

(DOI:10.31590/ejosat.575707)

REFERENCE: Dogan, T. H. & Karagöz, Ö. (2019). Optimization of the Production of Biodiesel from Beef Tallow Applying Ultrasound Technology. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 485-493.

Abstract

Biodiesel is one of the renewable energy sources that can be produced from vegetable and animal sources. Biodiesel has many advantages such as being environmentally friendly, non-toxic, low emission profile and biodegradable. Contrary to its advantages, one of the most important disadvantages is its high cost. The cost of biodiesel increases considerably when it is produced from edible crude oils. Therefore, a suitable feedstock should be used for biodiesel production. Beef tallow is a fat that is not preferred much in the food sector and can be called as waste. When biodiesel is produced from this fat, the contribution will be made both to the environment and to the economy. In this work, the optimization of ultrasound assisted biodiesel production from beef tallow was investigated. Taguchi method was used to optimize the biodiesel yield. Catalyst amount (0.75-2 wt.% of oil), methanol/oil molar ratio (5/1-9/1), reaction time (30-120 min), ultrasound time (5-20 min), ultrasound power (10-40 W) were selected as parameters. The optimum conditions were found to be 1.5 wt.% of oil for the catalyst amount, 7/1 methanol/oil molar ratio, 40W ultrasound power, 60 minute reaction time and 10 minute ultrasound time. The fuel properties of biodiesel obtained under these conditions accomplished the requirements of both the EN 14214 and ASTM D 6751 standards. The biodiesel yield under optimum conditions was 99.8%. In addition, according to the ANOVA results, it is found that the influence of reaction time, ultrasound time, methanol/oil molar ratio, catalyst amount and ultrasound power on production yield are obtained as 34.56%, 29.72%, 23.68%, 9.18% and 2.17%, respectively.

Keywords: Optimization, Biodiesel, Beef Tallow, Ultrasound.

Ultrases Teknolojisi Uygulayarak Sığır İç Yağından Biyodizel Üretiminin Optimizasyonu

Öz

Biyodizel, bitkisel ve hayvansal kaynaklardan üretilen yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Biyodizel, çevre dostu olması, toksik olmaması, düşük emisyon profiline sahip olması ve biyolojik olarak bozunabilir olması gibi pek çok avantaja sahiptir. Onun bu avantajlarının aksine en önemli dezavantajlarından birisi yüksek maliyetli oluşudur. Biyodizelin maliyeti, yemeklik ham yağlardan üretildiğinde önemli ölçüde artar. Bu nedenle, biyodizel üretimi için uygun bir hammadde kullanılmalıdır. Sığır iç yağı, gıda sektöründe fazla tercih edilmeyen bir yağdır ve atık olarak adlandırılabilir. Bu yağdan biyodizel üretildiğinde, hem çevreye hem de ekonomiye katkı sağlanacaktır. Bu çalışmada sığır iç yağından, ultrases destekli biyodizel üretiminin optimizasyonu araştırıldı. Biyodizel verimini optimize etmek için Taguchi yöntemi kullanıldı. Katalizör miktarı (ağırlıkça % 0.75-2), metanol/yağ molar oranı (5/1-9/1), reaksiyon süresi (30-120 dk), ultrases süresi (5-20 dk), ultrases gücü (10-40 W) parametre olarak seçildi. Optimum koşullar % 1.5 (ağırlıkça) katalizör miktarı, metanol/yağ oranı 7/1, ultrases gücü 40 W, reaksiyon süresi 60 dk ve ultrases süresi 10 dk olarak bulundu. Bu koşullar altında elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri, hem EN 14214 hem de ASTM D 6751 standartlarının gerekliliklerini yerine getirmiştir. Optimum koşullar altında biyodizel verimi % 99.8 dir. Ayrıca, ANOVA sonuçlarına göre, ürün verimi üzerine reaksiyon süresi, ultrases

* Corresponding Author: Atatürk University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Department, Erzurum, Turkey ORCID: 0000-0001-8369-9416, hatice@atauni.edu.tr (T.H. Doğan)

süresi, metanol / yağ molar oranı, katalizör miktarı ve ultrases gücünün etkisinin sırasıyla % 34,56, % 29,72, % 23,68, % 9,18 ve % 2,17 olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Biyodizel, Sığır iç yağı, Ultrases.

1. Introduction

Due to the increasing population and developing technology in the world, the energy demand is increasing. Although fossil fuels are the most important energy sources, they are harmful to the environment and can be consumed. For this reason, interest in biodiesel, which is one of clean and renewable energy sources, is increasing day by day. Although biodiesel is not economically viable when compared to fossil fuels, it can be advantageous when a suitable raw material is used. In this context, animal fat (beef tallow) has shown as a good raw material of biodiesel. Because, the central production in the slaughter of the beef tallow is very high, the price is low and it can be considered as a waste because it is not preferred much as food (Teixeira et al., 2009).

Biodiesel is traditionally produced by the transesterification of crude/waste vegetable and animal fats with a primary alcohol, such as methanol or ethanol, in the presence of an acid or base catalyst. Ultrasound-assisted transesterification is one of the alternative methods used to improve the reaction time, substance consumption and conversion during biodiesel production (Gupta, Yadav, & Rathod, 2015; Martínez et al., 2017; Parida, Sahu, & Misra, 2016).

The ultrasound increases the mass transfer between the immiscible reactants. Ultrasound waves include both expansion and compression pressure waves. Therefore, it generates microbubbles that are filled with reactants vapors in the liquid. The mass transfer into the microbubbles increases with the effect of ultrasound. The event called cavitation occurs when microbubbles grow and collapse (Sajjadi, Aziz, & Ibrahim, 2015). The collapse of cavitation bubbles increases the interaction between phases and the reaction rate. Therefore, higher conversion is achieved in a shorter time during transesterification of fatty acids by ultrasonic energy (Korkut & Bayramoglu, 2016; Mohod, Gogate, Viel, Firmino, & Giudici, 2017; Nakayama, Imai, & Woodley, 2017; Shinde, Nohair, & Kaliaguine, 2017).

Many studies have been conducted on the effect of ultrasound on biodiesel production from vegetable oils (Brasil, Oliveira, & Franca, 2015; Martinez-Guerra & Gude, 2015; Parida et al., 2016; Sáez-Bastante et al., 2014) However, ultrasonic-assisted biodiesel production from animal fats (especially beef tallow) has received little attention. Since the melting point, viscosity and density of the beef tallow are high, the effect of ultrasound energy may be more important on the production of biodiesel from this oil (Teixeira et al., 2009). Thus, the subject of this work was to investigate to ultrasonic-assisted biodiesel production from beef tallow and determine the optimum parameters of this process.

As is known, the optimization of the parameters used in biodiesel production is very important to obtain maximum yield (Saravanakumar, Avinash, & Saravanakumar, 2016). The Taguchi method can be used to find the optimum parameter with the least number of experiments. Taguchi can examine the parameters that affect an experiment as controllable and uncontrollable. In addition, it can be applied to an experimental design that includes many design factors. These are the most important advantages of the Taguchi method according to other statistical methods (Kackar, 1985). The Taguchi method was used to optimize the production of biodiesel from various oils in other studies. In these studies, the optimum parameter conditions of the process and the amount of maximum biodiesel yield in these conditions were determined (Adewale, Vithanage, & Christopher, 2017; Akhtar, Tariq, Iqbal, Sultana, & Wei, 2017; N. Kumar, Mohapatra, Ragit, Kundu, & Karmakar, 2017; R. S. Kumar, Sureshkumar, & Velraj, 2015; Sasikumar, Balamurugan, Rajendran, & Naveenkumar, 2016).

2. Materials and Methods

2.1. Materials

The beef tallow was obtained from a local slaughterhouse in Erzurum, Turkey. The properties of the beef tallow are given in Table 1. Methanol (Merck reagent of 99.9% purity), phosphoric acid (Merck reagent of 85% purity) and potassium hydroxide catalyst (Flake reagent of 99.9% purity) were used in the experiments.

Table 1. Properties of crude beef tallow

Properties	Value
Iodine number	45.2
Saponification number	163
Acid value (mgKOH/g)	1.09
Free fatty acids (as oleic acid, %)	0.55
Fatty Acid Composition (wt %)	
Myristic (C14:0)	2.13
Palmitic (C16:0)	25.11
Stearic (C18:0)	15.34
Oleic (C18:1)	40.21
Linoleic (C18:2)	2.20

2.2. Orthogonal Array and Experimental Design

L_{16} orthogonal array was chosen to optimize the effect of five important parameters on the production of ultrasound assisted biodiesel from beef tallow. The L_{16} orthogonal array is shown in Table 2.

Table 2. Taguchi $L_{16}(4^5)$ Experimental plan

Experiment number	Parameters				
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

Catalyst amount (wt. % of oil), methanol/oil ratio (mol/mol), ultrasound electric power (W), reaction and ultrasound time (minute) were taken into account in the experimental plan. The experimental parameters and their levels are listed in Table 3.

Table 3. Selected parameters and their levels

Parameters	Levels			
	1	2	3	4
A Catalyst amount (wt. % of oil)	0.75	1	1.5	2
B Methanol/oil ratio (mol/mol)	5/1	6/1	7/1	9/1
C Ultrasound power (W)	10	20	30	40
D Reaction time (minute)	30	60	90	120
E Ultrasound time (minute)	5	10	15	20

2.2.2. Experimental Setup and Procedures

The experimental setup used for ultrasound assisted transesterification experiments is shown in Figure 1. An ultrasonic generator (Cole Parmer CPX Ultrasonic Homogenizer, 750W, 20 kHz) equipped with a horn type probe was used to send ultrasound energy to the reactor content.

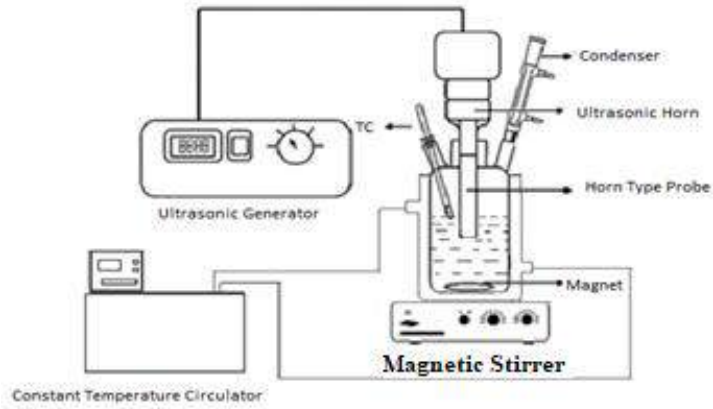


Figure 1. The experimental set-up

All transesterification experiments were carried out using the same reaction volume (700 mL) in a 1000 mL jacketed glass reactor. The reactor was equipped with a condenser, constant temperature circulator and a magnetic stirrer. The reaction temperature was kept constant at 60 °C to prevent beef tallow from freezing.

The melted beef tallow was initially filled into the reactor and heated to 60 °C. Known weight the catalyst (KOH) was first dissolved in the methanol and added to the reactor. The reactor content was stirred magnetically at 650 rpm. The ultrasonic energy was sent at the determined power and time to reactor. The reaction was stopped when the predetermined reaction time was over. Phosphoric acid was added to the mixture until the pH was neutral to completely stop the reaction. The mixture was taken to a separator funnel and the glycerol phase was separated at the bottom. Then the biodiesel (methyl esters phase) was washed three times with deionized water and the residual methanol was separated by rotary evaporator under vacuum. Finally, biodiesel samples were analyzed.

The fatty acid methyl ester (FAME) content of the biodiesel phase was analyzed by a gas chromatograph system equipped with an auto injector (Perkin Elmer Clarus 680, USA) and the BPX-7 capillary column (SGE, Melbourne, Australia, 60m x 0.25 mm id., 0.25). The initial oven temperature was 50 °C for 4 minute, and was increased to 230°C at a rate of 4 °C/minute, then maintained for 10 minute. Methyl ester yields were calculated based on EN 14103.

Standard analyses for the ester content, acid value (ISO 660), viscosity (ISO 3104), density (ISO 3675), iodine value (ISO 3961), pour point (ISO 3015) and cloud point (ISO 3016) carried out to evaluate the quality of the biodiesel. All experiments and analysis were repeated twice and average values were described.

3. Results and Discussion

3.1. Performance Statistics, S/N Ratios

In this study, since the highest ester yield is important to us, larger-the-better type of performance characteristic was used in calculating the signal-to-noise (S/N) ratio. The S/N ratios of all the experiment are calculated using Eq. (1).

$$\frac{S}{N} = -\frac{10 \log(\sum 1/Y_i^2)}{n} \quad (1)$$

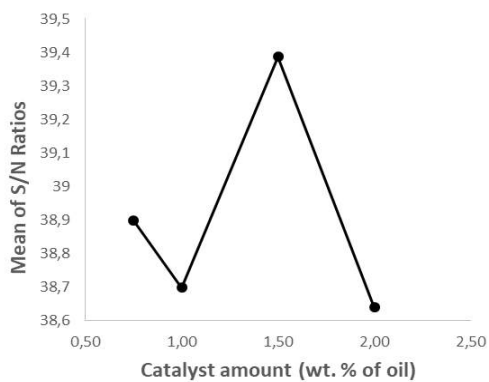
Where S/N is the performance statistics, *n* the number of repetitions done for an experimental combination, and *Y_i* performance value of *i*th experiment. The S / N ratios calculated from Eq. (1) are shown in Table 4.

Table 4. S/N ratio of the experiments

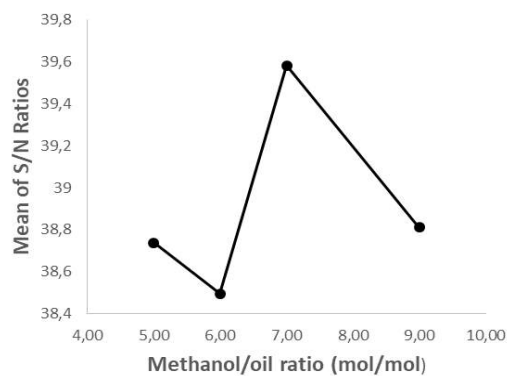
Experiment number	S/N ratio
1	38.1332
2	39.3350
3	39.9486
4	38.1922
5	38.0727
6	38.1922
7	39.2805
8	39.2663
9	39.9547
10	39.8987
11	39.8050
12	37.9877
13	39.3247
14	36.1372
15	39.8245
16	39.2918

3.2. Effect of Parameters on Biodiesel Yield

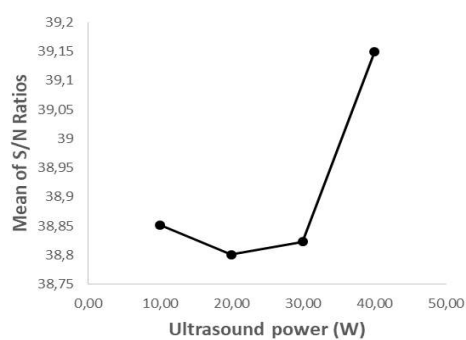
The results obtained from the experimental study are analyzed using the Minitab-13 computer software package program to examine the effect of each parameter on biodiesel yield and the mean of S/N ratios is shown in Figure 2.



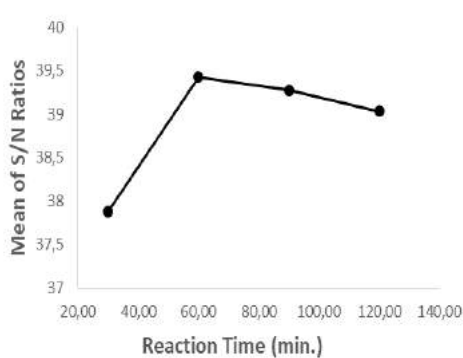
(a)



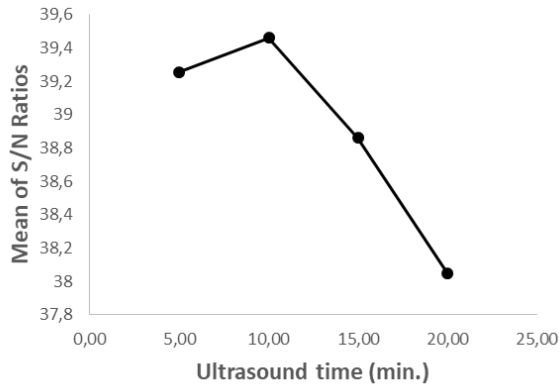
(b)



(c)



(d)



(e)

Figure 2. The mean effects plot for S/N ratios

Figure 2 shows the influence of parameters on the optimization criteria. For example, Figure 2a shows the variation of the performance statistics with catalyst amount. The catalyst amount for the first data point in Figure 2a is 0.75 (wt. % of oil) which is level 1 for this parameter. As Table 1 shows, experiments at level 1 of the catalyst amount (column A) are experiments 1,2,3, and 4. For this reason, the first data point in Figure 2a is created by taking averages of experiments 1, 2, 3 and 4. The other data points in Figure 2a are formed in the same way. The highest S/N value of each parameter in Figure 2 shows the optimum value for that parameter. Accordingly, the optimum conditions for this process are determined to be 1.5 (wt. % of oil) catalyst amount, 7/1 methanol/oil molar ratio, 60 minute reaction time, 10 minute ultrasound time and 40W ultrasound power (see Table 5).

Table 5. Optimum working conditions, calculated and observed biodiesel yield and confidence interval

Parameters	Optimum levels	Optimum value
A Catalyst amount (wt. % of oil)	3	1.5
B Methanol/oil ratio (mol/mol)	3	7/1
C Ultrasound power (W)	4	40
D Reaction time (minute)	2	60
E Ultrasound time (minute)	2	10
Calculated optimum biodiesel yield (%)	100	
Observed optimum biodiesel yield (%)	99.8	
Confidence interval (confidence level $\alpha=95\%$)	98.36-100	

When Table 2 is examined, it is seen that the experiment corresponding to optimum conditions is not included in the experimental plan. Therefore, the experiment result (calculated biodiesel yield) at the optimum conditions is calculated using Eq. (2).

$$Y_i = \mu + X_i + e_i \tag{2}$$

where μ is the overall mean of performance value at the optimum conditions, X_i the fixed effect of the parameter level combination used in i th experiment, and e_i the random error in i th experiment. % transformation of Y_i calculated by Eq.(2) is made using Eq.(3) and this value is given in Table 5.

$$\Omega (db) = -Log \left(\frac{1}{p} - 1 \right) \tag{3}$$

where $\Omega (db)$ is the decibel value of percentage value subject to omega transformation and P percentage of the product obtained experimentally.

The result calculated from Eq.(2) is an estimated result. For this reason, the confidence interval (CI) must be calculated to test this value. CI can be calculated using Eq. (4) and given in Table 5.

$$CI = \mu \pm \sqrt{\frac{F(1,n_2)V_e}{N_e}} \tag{4}$$

where $F(1, n_2)$ is the F value from the F table in any statistical book at the required confidence level and at degrees of freedom (DOF) 1 and error DOF n_2 ; V_e is the variance of error term (from ANOVA); and N_e is the effective number of replications

$$N_e = \frac{\text{Total number of results (or number of } S/N \text{ ratios)}}{\text{DOF of mean (= 1 always) + DOF of all factors included in the estimate of the mean}}$$

The confirmation experiments in the optimum conditions have been carried out three times, the result obtained (99.8%) is in the confidence interval calculated at 95% confidence level (see Table 5) and the experimental results are within $\pm 5\%$ error.

3.3. Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of variance (ANOVA) is performed to statistically analyze the experimental results and to determine the effective parameters (Mahamuni & Adewuyi, 2010). Also, it is used to estimate the % activity of each parameter in the L16 test plan. In this study, ANOVA is used to identify the most important parameter to reach the maximum biodiesel yield. The ANOVA table containing the values as sum of squares, degrees of freedom, F , etc. was created and given in Table 6.

Table 6. ANOVA table

Parameters	Sum of Squares (SS)	Degrees of freedom (DOF)	Mean of Squares (MS)	F	Percent of the contribution (%)
A Catalyst amount (wt. % of oil)	268.26	3	89.42	138.78	9.18
B Methanol/oil ratio (mol/mol)	688.99	3	229.66	356.44	23.68
C Ultrasound power (W)	64.98	3	21.66	33.62	2.17
D Reaction time (minute)	1004.70	3	334.90	519.77	34.56
E Ultrasound time (minute)	864.07	3	288.02	447.02	29.72
Error	10.31	16	0.64		0.69
Total	2901.3	31			100

As shown in Table 6, the least important contribution (2.17) is ultrasound power while the most important contribution (34.56) is reaction time. It can be said that the reaction time is the most important parameter for this process. According to Table 6, the power of ultrasonic energy has very little effect on the process. However, the ultrasound time seems to be very effective. In the process, effectiveness of the parameters are reaction time, ultrasound time, methanol/oil molar ratio, catalyst amount and ultrasound power, respectively.

3.4. Characterization of Biodiesel Product

The obtained product in optimum conditions was characterized by means of some of the EN 14214 and ASTM D 6751 standard specifications. The biodiesel synthesized at optimum conditions meets these standard specifications (Table 7). The maximum biodiesel yield obtained at optimum conditions was 99.8%. In previous studies, homogeneous one-step transesterification of beef tallow (base catalyzed) showed that biodiesel yield was 91% in 1 hour (Teixeira et al., 2009), 87.4% (Hoque, Singh, & Chuan, 2011), 90.8% (Mata, Cardoso, Ornelas, Neves, & Caetano, 2011) in 2 hours and 96.4% in 3 hours (da Cunha et al., 2009). Accordingly, the yield (99.8%) of biodiesel obtained from present work at the optimum condition is quite high when compared to earlier reported yield.

Table 7. Characterization of obtained biodiesel under optimum conditions

	Experimental values	Europe EN 14214	ASTM D 6751
Acid value (mg KOH / g oil)	0.4	< 0.5	< 0.8
Density at 15°C (g/cm ³)	0.874	0.86-0.90	0.575-0.900
Kinematic viscosity at 40°C (mm ² /s)	3.67	3.50-5.00	1.9-6.0
Iodine value (gI ₂ /100 g sample)	40.7	≤ 120	-
Cloud point (°C)	+11	-	-3 to +12
Pour point (°C)	+9	-	-15 to +10

4. Conclusion

This study shows the application of the L16 parameter design (Taguchi method) in the optimization of the production of biodiesel from beef tallow with ultrasound energy. The results obtained in the study are given below:

- The most effective parameter on the production of biodiesel from beef tallow with ultrasound energy is reaction time. While the ultrasound power has little effect, the ultrasound time has a great effect on the process.
- The maximum biodiesel yield of around 99.8% is noted in this experimental work for optimum control parameters of 1.5 wt.% of oil for the catalyst amount, 7/1 methanol/oil molar ratio, 40W ultrasound power, 60 min reaction time and 10 min ultrasound time.
- The biodiesel produced under optimum conditions meets the EN 14214 and ASTM standard specifications.
- The Taguchi method can be used to optimize the biodiesel yield with lesser number of experiments.

5. Acknowledgements

This work was financially supported by the Ataturk University Scientific Research Project (BAP 2016/208).

6. References

- Adewale, P., Vithanage, L. N., & Christopher, L. (2017). Optimization of enzyme-catalyzed biodiesel production from crude tall oil using Taguchi method. *Energy Conversion and Management*, 154, 81-91.
- Akhtar, T., Tariq, M. I., Iqbal, S., Sultana, N., & Wei, C. K. (2017). Production and characterization of biodiesel from Eriobotrya Japonica seed oil: an optimization study. *International Journal of Green Energy*, 14(6), 569-574.
- Brasil, A. N., Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2015). Circulation flow reactor with ultrasound irradiation for the transesterification of vegetable oils. *Renewable Energy*, 83, 1059-1065.
- da Cunha, M. E., Krause, L. C., Moraes, M. S. A., Faccini, C. S., Jacques, R. A., Almeida, S. R., . . . Caramão, E. B. (2009). Beef tallow biodiesel produced in a pilot scale. *Fuel Processing Technology*, 90(4), 570-575.
- Gupta, A. R., Yadav, S. V., & Rathod, V. K. (2015). Enhancement in biodiesel production using waste cooking oil and calcium diglyceroxide as a heterogeneous catalyst in presence of ultrasound. *Fuel*, 158, 800-806.
- Hoque, M. E., Singh, A., & Chuan, Y. L. (2011). Biodiesel from low cost feedstocks: the effects of process parameters on the biodiesel yield. *Biomass and Bioenergy*, 35(4), 1582-1587.
- Kackar, R. N. (1985). Off-line quality control, parameter design, and the Taguchi method. *Journal of Quality Technology*, 17(4), 176-188.
- Korkut, I., & Bayramoglu, M. (2016). Ultrasound assisted biodiesel production in presence of dolomite catalyst. *Fuel*, 180, 624-629.
- Kumar, N., Mohapatra, S., Ragit, S., Kundu, K., & Karmakar, R. (2017). Optimization of safflower oil transesterification using the Taguchi approach. *Petroleum Science*, 14(4), 798-805.
- Kumar, R. S., Sureshkumar, K., & Velraj, R. (2015). Optimization of biodiesel production from Manilkara zapota (L.) seed oil using Taguchi method. *Fuel*, 140, 90-96.
- Mahamuni, N. N., & Adewuyi, Y. G. (2010). Application of Taguchi method to investigate the effects of process parameters on the transesterification of soybean oil using high frequency ultrasound. *Energy & Fuels*, 24(3), 2120-2126.
- Martinez-Guerra, E., & Gude, V. G. (2015). Continuous and pulse sonication effects on transesterification of used vegetable oil. *Energy Conversion and Management*, 96, 268-276.
- Martínez, N., Callejas, N., Morais, E. G., Costa, J. A. V., Jachmanián, I., & Vieitez, I. (2017). Obtaining biodiesel from microalgae oil using ultrasound-assisted in-situ alkaline transesterification. *Fuel*, 202, 512-519.
- Mata, T. M., Cardoso, N., Ornelas, M., Neves, S., & Caetano, N. S. (2011). Evaluation of two purification methods of biodiesel from beef tallow, pork lard, and chicken fat. *Energy & Fuels*, 25(10), 4756-4762.
- Mohod, A. V., Gogate, P. R., Viel, G., Firmino, P., & Giudici, R. (2017). Intensification of biodiesel production using hydrodynamic cavitation based on high speed homogenizer. *Chemical Engineering Journal*, 316, 751-757.
- Nakayama, R. i., Imai, M., & Woodley, J. M. (2017). Ultrasound-assisted production of biodiesel FAME from rapeseed oil in a novel two-compartment reactor. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 92(3), 657-665.
- Parida, S., Sahu, D. K., & Misra, P. K. (2016). A rapid ultrasound-assisted production of biodiesel from a mixture of Karanj and soybean oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(8), 1110-1116.
- Sáez-Bastante, J., Pinzi, S., Arzamendi, G., De Castro, M. L., Priego-Capote, F., & Dorado, M. (2014). Influence of vegetable oil fatty acid composition on ultrasound-assisted synthesis of biodiesel. *Fuel*, 125, 183-191.
- Sajjadi, B., Aziz, A. A., & Ibrahim, S. (2015). Mechanistic analysis of cavitation assisted transesterification on biodiesel characteristics. *Ultrasonics sonochemistry*, 22, 463-473.
- Saravanakumar, A., Avinash, A., & Saravanakumar, R. (2016). Optimization of biodiesel production from Pungamia oil by Taguchi's technique. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(17), 2524-2529.
- Sasikumar, C., Balamurugan, K., Rajendran, S., & Naveenkumar, S. (2016). Process parameter optimization in jatropha methyl ester yield using taguchi technique. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(6), 701-706.

- Shinde, K., Nohair, B., & Kaliaguine, S. (2017). A Parametric Study of Biodiesel Production Under Ultrasounds. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 15(1).
- Teixeira, L. S., Assis, J. C., Mendonça, D. R., Santos, I. T., Guimarães, P. R., Pontes, L. A., & Teixeira, J. S. (2009). Comparison between conventional and ultrasonic preparation of beef tallow biodiesel. *Fuel Processing Technology*, 90(9), 1164-1166.



DLC Kesici Takım ve İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine ve Kesme Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi

Ayhan Etyemez^{1*}

¹Nikken Türkiye Küçükalyal İş Merkezi A Blok No:5 Maltepe 34852 İstanbul, Türkiye (ORCID ID: 0000-0001-8188-2743)

(First received 1 June 2019 and in final form 1 July 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.573269)

ATIF/REFERENCE: Etyemez, A. (2019). Investigation of the Effects of DLC Cutting Tool and Machining Parameters on Surface Quality and Cutting Force. *European Journal of Science and Technology*, (16), 494-504.

Öz

Bu çalışmada, Al 7075 alaşımın Diamond Like Carbon (DLC) kaplamalı kesici takımlarla frezelemede yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri deneysel olarak incelenmiştir. İlerleme, devir ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel tasarımda Taguchi metodu kullanılmıştır. Bu yöntem ile deneylere sarf edilecek zaman ve maliyetten tasarruf edilmiş, deney neticelerinde elde edilen veriler optimize edilerek iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki matematiksel olarak regresyon analiz yöntemiyle modellenmiştir. Sonuç olarak da ANOVA ile de yüzeydeki pürüzlülüğün oluşumunda en etkili faktör %92,46 ile ilerleme, kesme kuvveti oluşumunda en etkili faktör %82,91 ile talaş derinliği olduğu anlaşılmıştır. Regresyon analizi ile de Ra tahminsel denklemi %94,7 doğruluk ile, kuvvet tahminsel denklemi %87,1 doğruluk ile elde edilmiştir. Taguchi metodunun uygulandığı bu çalışmada kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü gibi işleme yöntemlerinde en aza indirilip, performans yükseltilmiş ve elde edilen ürün kalitesi iyileştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DLC kaplı takımlar, Alüminyum 7075, Taguchi, Regresyon Analizi, Varyans Analizi (ANOVA), Yüzey Pürüzlülüğü

Investigation of the Effects of DLC Cutting Tool and Machining Parameters on Surface Quality and Cutting Force

Abstract

In this study, the surface roughness and cutting forces of Al 7075 alloy were investigated experimentally while milling with cutting tool coated by Diamond-Like-Carbon (DLC). The influence of feed, cutting speed and depth of cut on surface roughness and cutting forces was analyzed. Taguchi technique was used when designing the experiment. With this way, the time and cost of the experiments economized, and the data found from the experimental outcomes were adjusted, and improvement was performed. The connection between the dependent and independent variables was modeled mathematically by regression analysis method. As a result, the most effective factor in the formation of surface roughness with ANOVA was the feed with 92.46%, the most effective factor in the creation of cutting force was the depth of cut with 82.91 %. With the regression analysis, Ra's predictive equation was obtained with an accuracy of 94.7%, and the force estimation of the equation with 87.1% accuracy. In this study where the Taguchi method has been applied, the processing methods such as cutting force and surface roughness have been minimized, the performance has been increased, and the product quality has been improved.

Keywords: DLC coated tools, Aluminium 7075, Taguchi, Regression Analysis, Variance Analysis (ANOVA), Surface Roughness

* Corresponding Author: Ayhan Etyemez, ¹Nikken Türkiye Küçükalyal İş Merkezi A Blok No:5 Maltepe 34852 İstanbul, Türkiye, (ORCID ID: 0000-0001-8188-2743), ayhan@nikken.com.tr

1. Introduction

Al 7075 alloy is a lightweight material with high strength. However, in the experimental study; the fact that the workpiece is an aluminum alloy brings some problems. Al and its alloys are the materials that cause problems such as the wrapping and adhesion of the cutting tool and workpiece, especially in dry milling due to their material structure. The wrapping event has a negative effect on both the cutting tool and workpiece surface quality and adversely affects the machining performance in general. To eliminate this negativity, it is necessary to use either diamond and similar cutting tools or coolant to eliminate the winding and adhesion properties of the aluminum alloy. Since milling has a batch and pulse processing technique, the use of tools such as diamonds and the like will cause mechanical wear to the tool. Although the use of refrigerant during cutting is preferable because it contributes to the breakability of the chip and the removal of the broken chips from the cutting zone, it is an undesirable method to be preferred today when environmental conditions are taken into consideration.

Considering the above conditions, the lifetime of the cutting tool is increased, and the workpiece is produced in the desired quality, and it is necessary to optimize the cutting performance and situations in order to minimize the raw material consumption. In order to accomplish this, the issues affecting the lifetime of the cutting tools and the factors that influence the quality of the workpiece are being investigated by scientists. Studies conducted for many years show that there are many parameters and situations in milling that affect cutting tool life and workpiece quality. Cutting tool life and factors affecting the quality of the product produced are parameters such as the material of the cutting tool, geometric properties, coating, progression, cutting speed, depth of cut, coolant, chip breaker form, workpiece and the stiffness ratio of the cutting tool [1-3]. The selection of these parameters in accordance with the material of the workpiece; increasing the tool life and the surface quality of the product produced reduces the production cost and the energy consumed [4-9]. Taking all these into consideration, it is important to consider the selection of cutting parameters that are suitable for the workpiece material feature. Especially in the milling and machining of aluminum material and adhesion and diffusion of the cutting tool with the workpiece and the fact that the mechanical properties are not good due to intermittent processing are the features that should be considered.

In addition, reducing environmental damage is one of the other issues that should be considered as much as possible during the production period. Today, when the products compatible with the environment and environmental health are popular, it is necessary to create environmentally compatible environments as much as possible in the production process of these products and to manufacture them in these environments. In this case, dry machining comes into the foreground in machining [10]. Thus, the damage to the environment by the refrigerant liquids will be eliminated. It is difficult to manufacture without the use of refrigerants. Thanks to refrigerants, the temperature created due to friction are reduced between the cutting tool and the workpiece; it helps the chips to break away from the cutting zone and break it [6]. Failure to use coolers will cause the problems mentioned above to occur. Coating technology is utilized to minimize these problems. Considering the characteristics of the workpiece, in the manufacture of the coated cutting tools, heat formation and the pile of wood were tried to be drawn down [11]. Diamond materials are very high anti-adhesive properties due to their internal structure [11-13]. However, diamond cutting tools are damaged due to the impacts in batch operation, and tool life is negatively affected. Therefore, it is suggested that diamond-like carbon DLC coatings are more suitable than using cutting tools with many uncrystallized films in batch operations. DLC films resemble diamond in many aspects such as hardness, excellent wear and slipperiness, chemical stability, high electrical resistance, and high optical visibility. Due to their high hardness and low friction rate, diamond-like carbon DLC coatings have a high potential for dry and batch machining [4-5, 12-15]. In this study, the chip was removed from Al 7075 alloy material by using diamond-like carbon DLC coated cutting tools suggested by numerous researchers in the machining of aluminum alloys. Test conditions were determined by taking the current literature researches and the machining conditions of the companies in the industry into consideration. Cutting force was observed in the study of the experiment. The surface quality of the end product was examined, and a connection between the alteration in cutting parameters and surface quality was proved to be found.

The test results (surface roughness and cutting force) were optimized by using the Taguchi method, which is one of the optimization techniques usually used in literature, and the parameters were optimised. The analysis of variance (ANOVA) was used to determine the valid parameters and effect rates. In the results obtained from the experimental study with ANOVA; the most effective factor in the formation of surface roughness is feed with 92.46%, the most effective factor in the formation of cutting force is the depth of cut with 82.91%. The regression model was used to analyze the equation between dependent variables and independent variables. With the regression analysis, Ra's predictive equation was obtained with an accuracy of 94.7%, and the force estimation of the equation with 87.1% accuracy.

2. Experimental Study

2.1. The Method of Experiment

The examples used in the test study were Al 7075 alloy material, and Al 7075 aluminum alloy, chemical ratios of which are given in Table 1 and mechanical specification of which are given in Table 2 was used as the test sample. In the tests, x-y-x axial VMC-850/550+APC CNC Fanuc 0T of JOHN FORD CNC Milling Machine with 30 HP engine power was used.

Table 1. Chemical properties of Al 7075

Al	Cu	Mn	Si	Ti	Zn	Cr
Remaining	2,0	0.30	0.13	0.20	0.5	0.28

Table 2. Mechanical properties of Al 7075

Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elongation (%)	Density (kg / m ³)	Hardness (HB)
570	505	11	2800	160

In this experimental study, DL1000 AXET 123504PEFR-S hard metal inserts were used. Surface roughness was measured with MAHR-Perthometer. The KISTLER 9265B force sensor, the KISTLER 5019B load amplifier and the DynaWare program as an analysis program were used to measure the force (Figures 1 and 2).



Figure 1. Test Arrangement

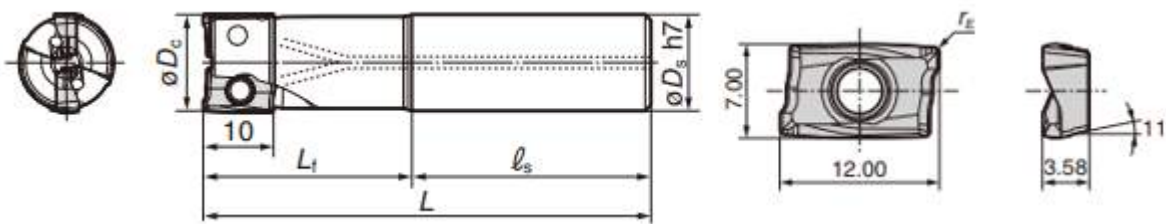


Figure 2. Holder and tool used in the experiment

2.2. Test Design

The experiment design was done by using Taguchi technique. As a result, it was probably to reach more wide-ranging outcomes with less experimentation. Thus, time and cost savings were provided [16-23]. When determining the quality characteristics, for the surface roughness and cutting force ratios to be measured are desired to be the least, the principle of "the smallest is the best" was applied.

$$S / N(\eta) = -10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

N = the number of experiments performed in experimental conditions and y expresses the measured characteristic (dependent variable).

The study of the experiment, feed (f), rotation (N), and depth of cut (d) were selected as parameters. DLC coated DL1000 AXET 123504PEFR-S insert ends were used in all experiments. The parameters and their levels to be used in the test are presented in Table 3, and the test design of L9 is presented in Table 4.

Table 3. Test parameters

Parameters	(A) Progress (Mm / min)	(B) Rotation (rpm)	(C) Depth of cut (mm) (mm)
Level I	960	4000	0.5
Level II	1080	4500	1.0
Level III	1200	5000	1.5

Table 4. Taguchi L₉ Test design

Test No.	Variables	(A) f (Mm / min)	(B) S (rpm)	(C) d (mm)
1	A ₁ B ₁ C ₁	1	1	1
2	A ₁ B ₂ C ₂	1	2	2
3	A ₁ B ₃ C ₃	1	3	3
4	A ₂ B ₁ C ₂	2	1	2
5	A ₂ B ₂ C ₃	2	2	3
6	A ₂ B ₃ C ₁	2	3	1
7	A ₃ B ₁ C ₃	3	1	3
8	A ₃ B ₂ C ₁	3	2	1
9	A ₃ B ₃ C ₂	3	3	2

3. Findings and Evaluation

On Al 7075 material, the feed, cutting speed and chip depth parameters were used as a variable with DLC coated of DL1000 AXET 123504PEFR-S insert ends on the CNC milling machine and chip is removed. The effects of these parameters on surface roughness and cutting forces were examined.

Table 5 shows the surface roughness values and cutting force values obtained after the tests.

Table 5. Surface roughness and cutting force values measured at the end of the tests.

Test No.	Variables	Surface Roughness (μm)	Cutting Force (N)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.53	38.40
2	A ₁ B ₂ C ₂	0.49	61.67
3	A ₁ B ₃ C ₃	0.79	115.36
4	A ₂ B ₁ C ₂	0.98	66.07
5	A ₂ B ₂ C ₃	1.08	87.50
6	A ₂ B ₃ C ₁	0.76	28.45
7	A ₃ B ₁ C ₃	1.67	124.83
8	A ₃ B ₂ C ₁	1,22	40.83
9	A ₃ B ₃ C ₂	1.13	99.27

3.1. Evaluation of Surface Roughness Results

The results of the experimental study performed to investigate the machinability of Al 7075 alloy material; roughness values were between 0.49 and 1.67 μm . S / N ratios of the surface roughness value according to the processing parameters are presented in Table 6 below. It is understood that for the final pass obtained in the nine experiments according to the S / N ratio, when the feed was 960 mm/min, rotation 5000 rpm, and depth of chip 1mm, the most suitable surface quality could be achieved. But since in the tests carried out, this experiment process was not included, validation tests were carried out. Validation experiments were achieved, and a difference of 0.07 μm was observed (Table 7). This result is consistent with the literature. High speed and low feed improve the quality of the surface. This is ultimately consistent with the theoretical and experimental studies, and Taguchi experiment demonstrates the compatibility of the design [3, 4, 6].

Table 6. Surface Roughness Values for Ratios of S/N

Level A (Feed mm/min)	Level B (rpm)	Level C (Cutting depth mm)	
1	0.5206	-0.4161	0.7355
2	0.6302	-1.2822	-0.6397
3	-4.2446	-1.3956	-3.1897
$\Delta_{\max-\min}$	4,8749	0.9795	3.9252
Rank	1	3	2

Table 7. Optimal Result for Surface Roughness Values

	Estimation	Verification Test
Level	A ₁ B ₃ C ₂	A ₁ B ₃ C ₂
Surface Roughness (N)	0.44 μm	0.51 μm

As a result of the experiments, the obtained Ra values and the Signal noise (S / N) ratios for each Ra value are presented in Figure 3. Besides, the effects of machining parameters on surface roughness are shown in Figures 4, 5 and 6.

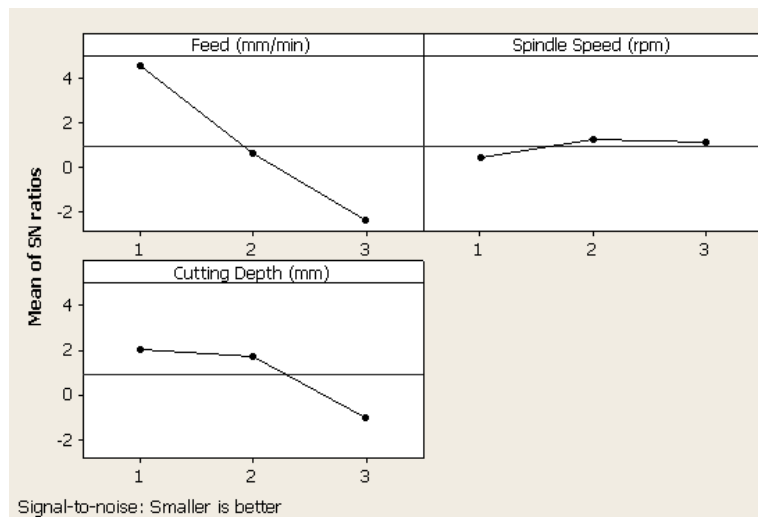


Figure 3. S/N Ratio

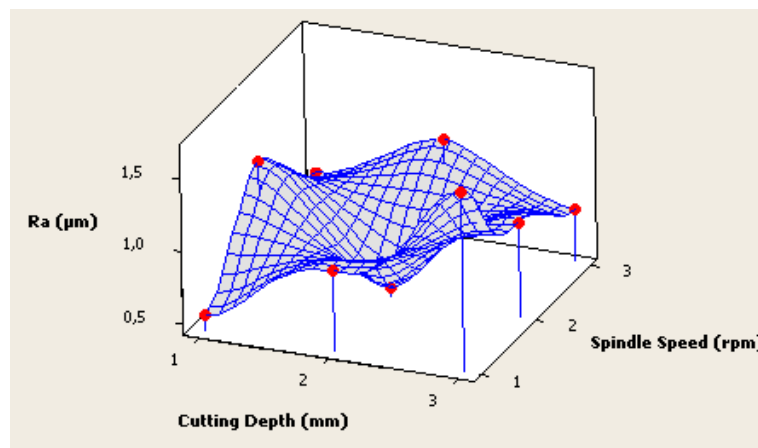


Figure 4. Effects of Rotation and Chip Depth on Surface Roughness

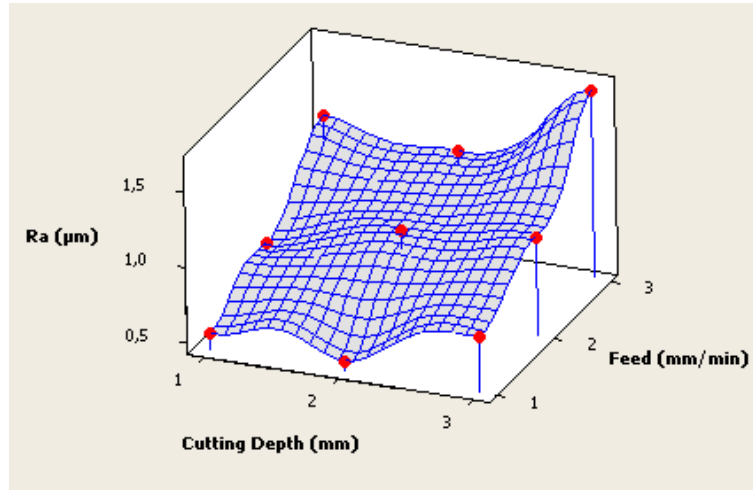


Figure 5. The Effects of Feed and Chip Depth on Surface Roughness

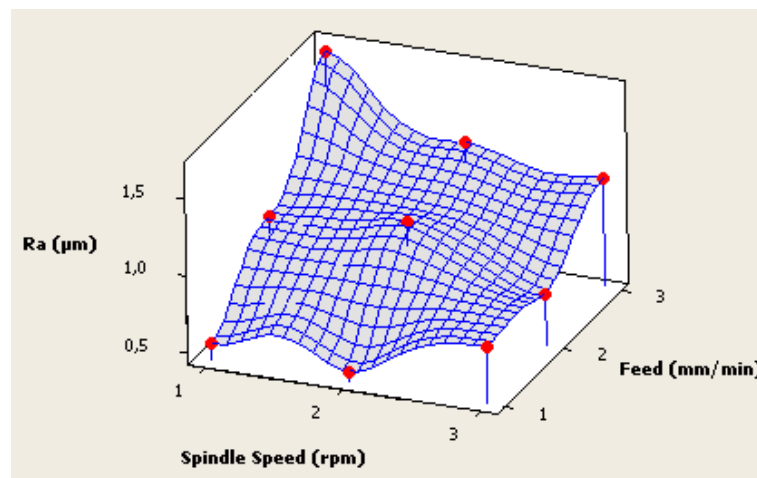


Figure 6. Effects of Rotation and Feed on Surface Roughness

3.2. Evaluation of Cutting Force Results

In machining of Al 7075 alloy material with the cutting tool by DLC coated, the resulting cutting force values were between 28.45 to 124.83 N. S/N ratios of cutting force value concerning machining parameters are presented in Table 8 below. It is understood that for the final pass obtained in the nine experiments according to the S / N ratio, when the feed was 1080 mm/min, rotation 5000 rpm, and depth of chip 0.5 mm, the most suitable surface quality could be achieved. But since in the tests carried out, this experiment process was not included, validation tests were carried out. It is understood that the alteration in cutting force was affected by the feed rate, rotation, and cutting depth. Verification tests were performed, and it is understood that the difference was approximately 3 N (Table 9).

Table 8. Cutting Force Values for S/N ratios

Level	A (feed mm / min)	B (rpm)	C (Cutting depth mm)
1	-36.24	-36.67	-31.00
2	-34.77	-35.62	-37.38
3	-38.03	-36.75	-40.67
$\Delta_{\max-\min}$	3.25	1.13	9.67
Rank	2	3	1

Table 9. Optimal Results for Force

	Estimation	Verification Test
Level	A ₂ B ₃ C ₁	A ₂ B ₃ C ₁
Cutting Force Values (N)	30.39 N	33.1 N

As a result of the experiments, the obtained cutting force values and the signal noise (S / N) ratios for each shear force value are presented in Figure 7.

The effect of cutting depth, spindle rotation and the feed from the parameters effective in increasing cutting forces is revealed in Figure 8, Figure 9 and Figure 10. As can be shown in the figures, with the increase in the depth of cut and the feed, the resistance to the cutter in the cutting plane increases and the cutting force value increases accordingly. However, this increase is not linear. It is possible to interpret that the reason why the cutting depth and feed increase is linear but the increase in cutting force is not linear, because of the consequence of the other parameters on the force of cutting.

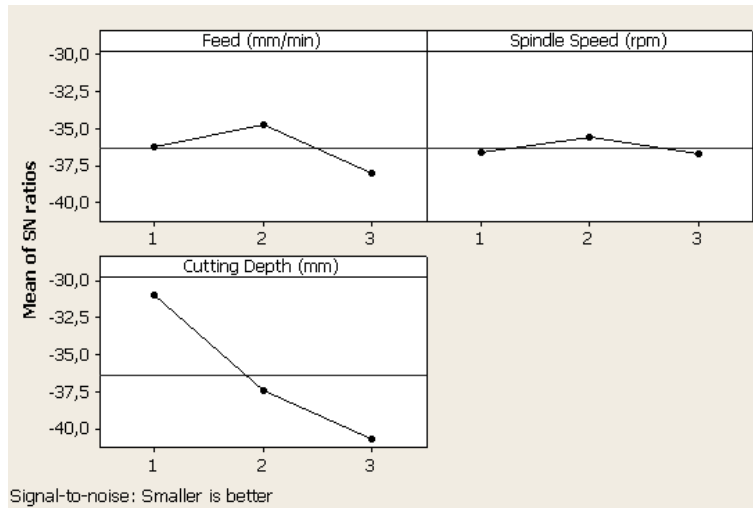


Figure 7. S/N Ratio

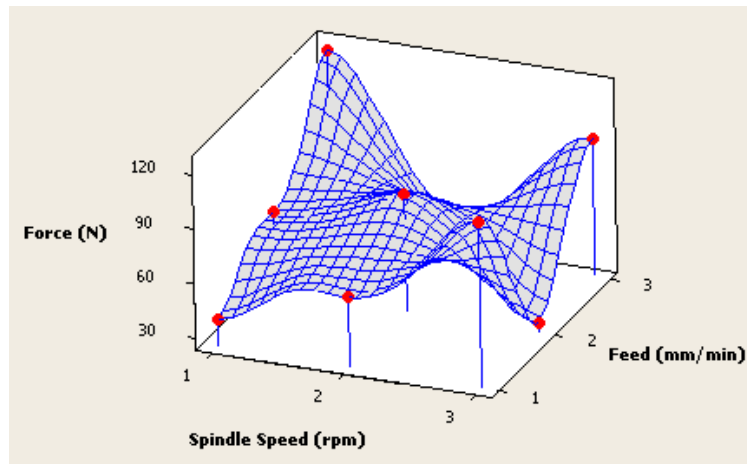


Figure 8. Effects of Rotation and Feed on Cutting Force

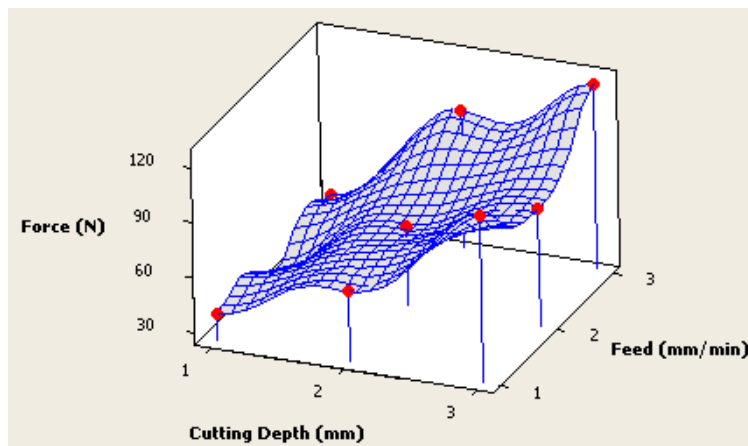


Figure 9. The Depth of Cut and Feed's Effects on Cutting Force

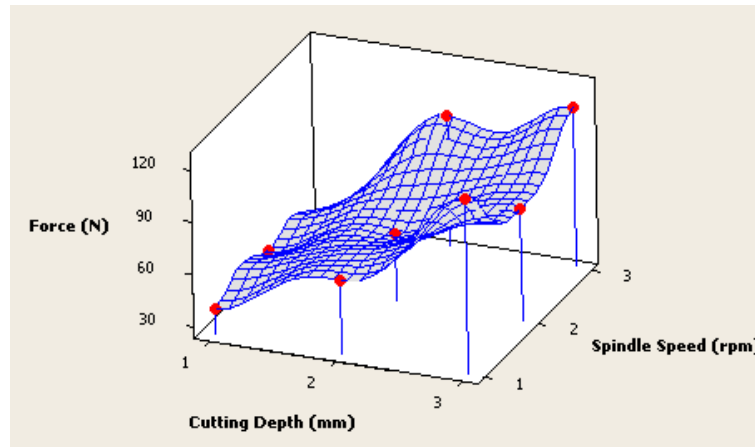


Figure 10. Effects of Rotation and Cutting Depth on Cutting Force

3.3. Evaluation of Parameters with ANOVA Method

Nine tests were made by using three different elements at three different levels for milling of Al 7075 alloy material, and different surface roughness and cutting force response values were measured in each test. Variance analysis was applied to clarify whether these differences were random or caused by the factors and the effects of each element on the response. The results of variance analysis of mean surface roughness and cutting force values are presented in Table 11 and Table 12. As shown in Table 11 and Figure 11, the most effective factor in the creation of roughness on the treated surface as a result of the treatment of Al 7075 alloy material with cutting tools by DLC coated is the feed with 92.46%. In his study, Etyemez reported with 89.81%, Ay and Karagöl reported with 92.47% of the cases feed was the most effective parameter. However, Pınar's study estimated the second effective parameter with 19.63% and the cutting speed with 29.12% as the first effective parameter. The fact that the feed is the active parameter seems to coincide with the literature [3, 4, 6].

As seen in Table 12 and Figure 12, the most effective factor in the creation of cutting force is the cutting depth with 82.91% as a result of the machining of Al 7075-alloy material with cutting tools by DLC coated.

Table 11. ANOVA values corresponding to surface roughness values

Notations:	Degree of Freedom	Sum of Squares	Variables	F rate	Percentage (%)
A	2	0.81602	0.40801	73.59	92.46
B	2	0.04602	0.02301	4,15	6.22
C	2	0.21696	0.10848	19.57	1.28
Error (e)	2	0.01109	0.00554		0.03
Total	8	1.09009			100

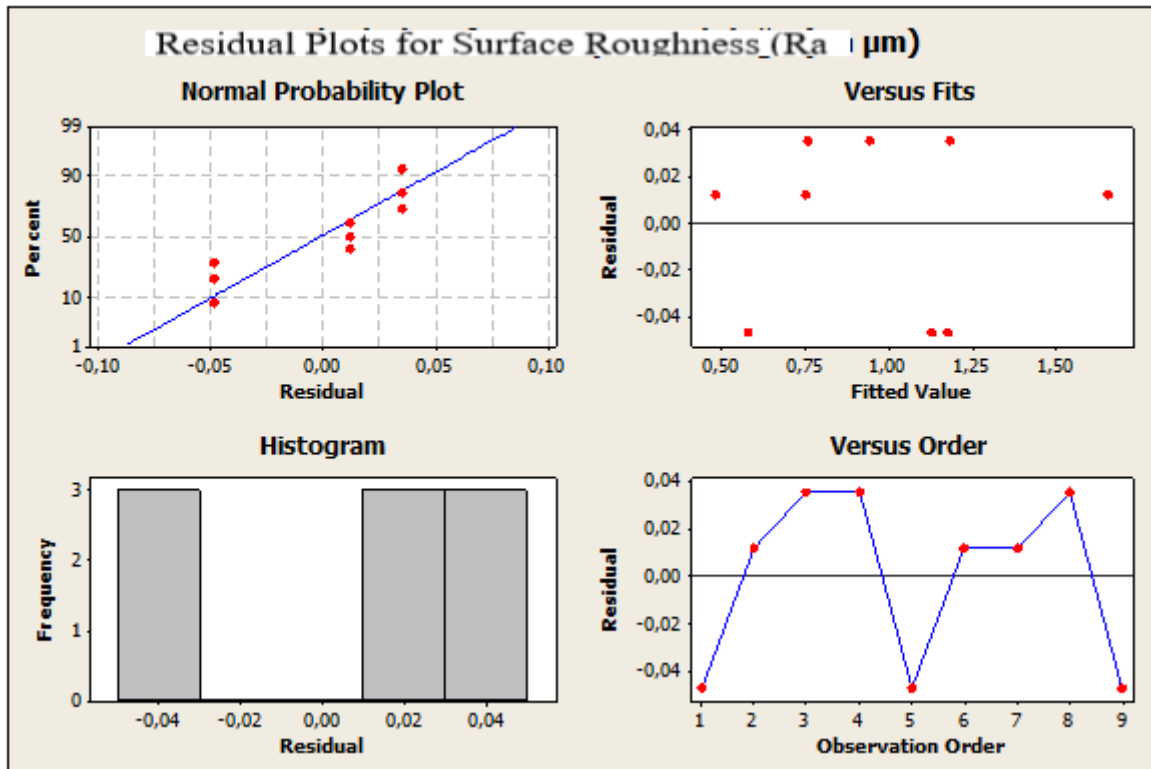


Figure 11. Surface Roughness for Variance Analysis Results

Table 12. ANOVA values corresponding to cutting force values

Notations:	Degree of Freedom	Sum of Squares	Variables	F rate	Percentage (%)
A	2	1160.1	580.0	62.76	11.89
B	2	505.8	252.9	27.6	5.18
C	2	8086.7	4043.4	437.51	82.91
Error (e)	2	18.5	9.2		0.02
Total	8	9771.0			100

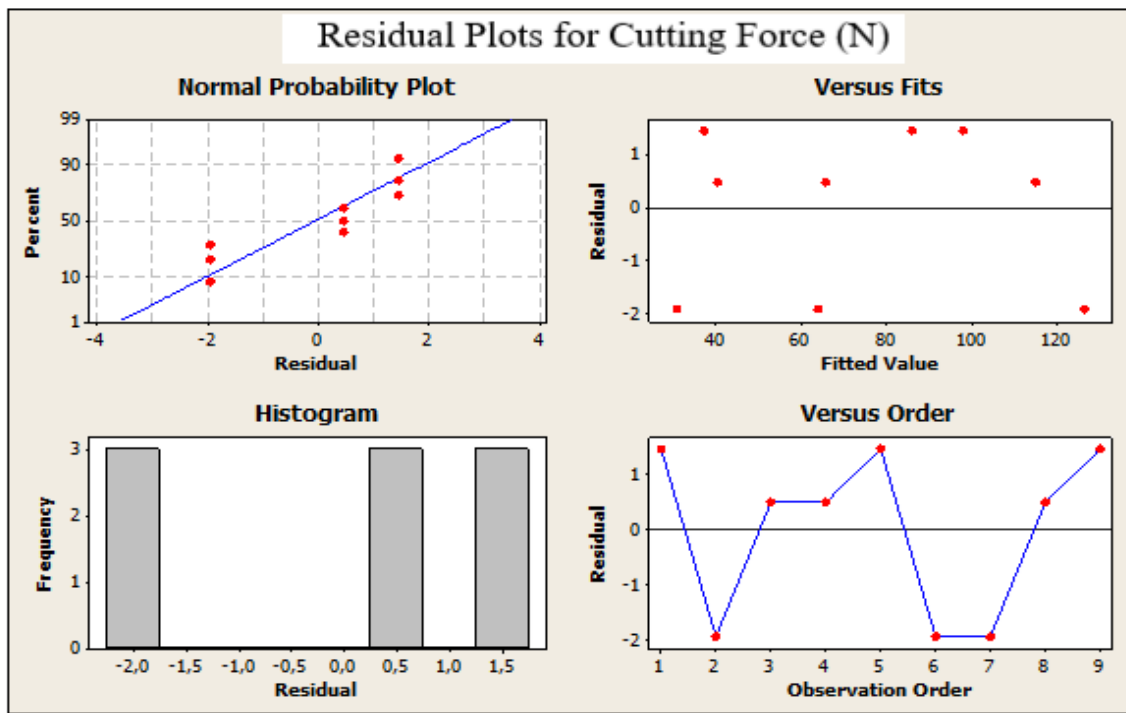


Figure 12. Cutting Force Variance Analysis Results

3.4. Estimating Equation of Surface Roughness and Cutting Force with Regression Model

Linear regression analysis was used to formulate and define the predicted equation between control factors (feed, cutting speed and depth of cut) used in chip removal and the result (average surface roughness and cutting force).

The Ra and N equations formulated for this experimental study are revealed below.

$$\text{Ra (17m)} = 0,048 + 0,368 A - 0,0833 B + 0,172 C + (\varepsilon) \quad R^{2nd} = 0.947 \quad (2)$$

$$\text{Force (N)} = - 20,8 + 8,25 A + 2,30 + 36,7 C + (\varepsilon) \quad R^2 = 0.871 \quad (3)$$

4. Conclusions

In this study on machinability of Al 7075, alloy material with DLC coated useful insert conclusions were reached. Conditions for machinability were surface roughness, cutting force, temperature and chip formation. Three control elements (feed rate, cutting speed and cutting depth), which are considered to be effective in realization of this criterion under ideal conditions, were selected at three different levels and applied in the experimental study. The results are summarized below.

- In the machining of Al 7075 alloy material with DLC coated cutting tools, the ideal surface roughness value was obtained as feed was 960 mm/min, the rotation was 5,000 rpm, and the depth of the cut was 1 mm.
- All three control factors (feed, rotation and depth of cut) were also useful in the formation of cutting force. The ideal cutting force value was reached with the feed of 1080 mm/min, rotation was 5000 rpm and cutting depth is 0.5 mm.
- It is seen that the Taguchi optimization technique is a useful technique in the design of the workability test of Al 7075 alloy material, optimization of parameters, and obtaining the desired rates of response values.
- In the outcomes found from the experimental studies with the variance analysis (ANOVA); the most genuine factor in the creation of surface roughness is 92.47% feed, the most effective factor in the formation of cutting force is 82.91% depth of chip.
- With the regression analysis, Ra's predictive equation was obtained with an accuracy of 94.7%, and the force estimation of the equation with 87.1% accuracy.

When the results are assessed in consideration of the literature, it is found out that DLC coatings contribute positively to the workability of Aluminum 7075 alloy material and mainly accelerates the enhancement in the performance of the cutting tool.

References

- [1] Kaya, H. Cengiz, A. Uçar, M. Talaş formuna bağlı olarak 7075 Al Alaşımının işlenebilirlik parametrelerinin uygunluğunun tespit edilmesi. **2. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu Konya**. (77-91), (2010).
- [2] Pınar, A.M. AA 6013 Alüminyum Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Parametreleri Etkilerinin Ortalama ve Toplam Yüzey Pürüzlülüğü Kriterine Göre İncelenmesi. **NWSA:Technological Applied Sciences**, 5-1(15-2), (2010).
- [3] Sekmen M., Günay M., Şeker U. Alüminyum Alaşımının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi. **Journal of Polytechnic**, 18-3(141-148), (2015).
- [4] Etyemez, A. Optimization of Effects of Pocket Tool Path Strategies and Cutting Parameters on Surface Quality. **Acta Physica Polonica A**, 129-4(886-889), (2016).
- [5] Ay, M., Etyemez, A. Optimization of Effects of Cutting Parameters and Cutting Tool Path by using Grey Based Taguchi Method. **Acta Physica Polonica, A**, 134-1(125-128), (2018).
- [6] Ay M., Karagöl T. Investigation of the machinability of the Al 7075 alloy using DLC coated cutting tools. **Scientific Research and Essays**, 6-1(44-51), (2011).
- [7] List G., (2015).Wear behavior of cemented carbide tools in dry machining of aluminium alloy, *Wear*, 259:7-12, 1177-1189.
- [8] Korkut I., Korkut, I., Donertas, M.A. The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool-chip contact length during face milling. **Materials and Design**, 28 (308-312), (2007).
- [9] Sevim, C., . Genç, O. Al-7075 Malzemesinin Freze Tezgâhında Delme İşleminde Farklı Devir Ve İlerleme Hızları İçin Oluşan Titreşimlerin İncelenmesi. **International Journal Of Scientific & Technology Research**, 4-4(50-57), (2015).
- [10] Camposeco-Negrete C. Optimization of cutting parameters using Response Surface Method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in turning of AISI 6061 T6 aluminum. **Journal of Cleaner Production**, 91(109–117), (2015).
- [11] Liu Y, Meletis E, Erdemir A. A study on wear mechanism of diamond-like carbon films. **Surf. Coatings Technol.**, 82(48-56), (1996).
- [12] Settineri L, Bucciotti F, Cesano F, Faga MG. Surface Properties of Diamond Coatings for Cutting Tools. **Ann. CIRP**, 56(573-576), (2007).
- [13] Trava-Airoldi VJ, Bonetti LF, Capote G, Santos LV, Corat EJ. A comparison of DLC film properties obtained by r.f. PACVD, IBAD, and enhanced pulsed-DC PACVD. **Surf. Coatings Technol.**, 202(549-554), (2007).
- [14] Uenga HY, Guo CT, Dittrich KH. Development of a hybrid coating process for deposition of diamond-like carbon films on microdrills. **Surf. Coatings Technol.**, 200(2900-2908), (2007).
- [15] Vandeveld TCS, Vandierendonck K, Van Stappen M, Du Mong W, Perremans P. Cutting applications of DLC, hard carbon, and diamond films. **Surf. Coatings Technol.**, 113(80-85), (1999).
- [16] Deepak D., Rajendra B Investigations on the surface roughness produced in turning of Al 6061 (as-cast) by Taguchi method. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, 4-8(295-298), (2015).
- [17] Chandra Sekhar, Y., Gopichand, A., Sam Sukumar, R., Pavan Kumar, N. Optimization of Surface Roughness of 6463 Aluminium Alloy and Brass Materials in CNC Milling Operation Using Taguchi's Design. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, 6-2 (1553- 1560), (2017).
- [18] Sakthivelu, S., Anandaraj, T., Selwin, M. Multi-Objective Optimization of Machining Conditions on Surface Roughness and MRR during CNC End Milling of Aluminium Alloy 7075 Using Taguchi Design of Experiments. **Mechanics and Mechanical Engineering**, 21-1(95–103), (2017).
- [19] Saravanakumar, A., Sasikumar, P., Nilavusri, N. Optimization of Machining Parameters using the Taguchi Method for Surface Roughness. **J. Mater. Environ. Sci.**, 7-5(1556-1561), (2016).
- [20] Yaşar, N., Yurtkuran, H., Günay, M. Sertleştirilmiş X40CrMoV5-1 Çeliğinin Tornalanmasında Kesme Kuvvetinin Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi. **GU J Sci, Part C**, 6-4 (765-773), (2018).
- [21] Satish Kumar, M. D., Prasad, J., Abhishek Krishna, D., Venkat Narayana, M., Anusha, M., Saravanakumar A. Parametric optimization of aluminum alloy milling using Taguchi method for surface roughness. **International Journal of Scientific Research and Review**, 7-3(517-522), (2018).
- [22] Ay, M., Altunpak, Y. Optimization of cutting parameters and graphite rate in the drilling of a hybrid aluminum matrix composites. **Journal of Engineering and Fundamentals**, 2-2, (42-50), (2015).
- [23] Ay, M., Basmacı, G. Investigation of The Effects of Conventional and Wiper Coated Carbide Tools With Dry Cutting on Cutting Forces, Surface Roughness and Material Hardness In Turning 17-4 Ph Stainless Steel. **The Online Journal of Science and Technology**, 6-1, (33-39), (2016).



Denizüstü/Karaüstü Rüzgâr Santralinin Modellenmesi ve Şebekeye Bağlantısı

Ozan Akdağ^{1*}, Celaledin Yeroğlu²

¹İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye(ORCID: 0000-0001-8163-8898)

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye(ORCID: 0000-0002-6106-2374)

(İlk Geliş Tarihi 30 Aralık 2018 ve Kabul Tarihi 5 Temmuz 2019)

(DOI:10.31590/ejosat.505340)

ATIF/REFERENCE: Akdağ, O. & Yeroğlu, C. (2019). Denizüstü/Karaüstü Rüzgâr Santralinin Modellenmesi ve Şebekeye Bağlantısı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 505-520.

Öz

Büyüyen rüzgâr enerji piyasasında karasal alanlarda oluşan kısıtlamalar nedeniyle denizüstü rüzgâr santralleri dünya genelinde yaygınlaşmaktadır. Denizüstü rüzgâr santrallerinin karaüstü rüzgâr santrale göre maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, kaynak kalitesinin yüksek oluşu bu durumu elimine etmektedir. Bunun yanında günümüzde gelişen teknoloji ile düşen maliyetler denizüstü santralleri karaüstü rüzgâr santrallere göre gittikçe cazip kılmaktadır. Denizüstü santrallerin dünyada özellikle 2010 yılından sonra kurulu gücünde önemli artışlar olmuştur. Bu artışta sektörel gelişmeler, enerji güvenliği, küresel ısınma sorununu aşma gibi konular etkili olmuştur. Denizüstü rüzgâr santralleri, son yıllarda tüm dünyada hızla yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde ise henüz devreye alınmış bir denizüstü rüzgâr santrali bulunmamaktadır. Ülkemizde denizüstü rüzgâr santrallerinde işletme deneyimi eksikliği, planlama, devreye alma, şebeke bağlantı gibi konularda geliştirici çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada denizüstü rüzgâr santralinin kurulum/modelleme aşamaları ve ilgili şebekeye bağlantı esasları incelenmiştir. Örnek olarak Çanakkale ilinin Ezine ilçesi yakınlarında toplam 40 MW denizüstü, 40 MW klasik bir rüzgar santralinin (karaüstü) birlikte o bölgeye en yakın 154/34,5kV transformatör merkezinin 154 kV'lık barasına dâhil edilmesi senaryosu için bu santralin sanal modeli oluşturulup güç sistemine bağlantı esasları analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Denizüstü rüzgâr santrali, Yük akış analizi, Kısa devre analizi, Voltaj kaynağı dönüştürücü.

Modeling of Offshore/Onshore Wind Power Plant and Network Connections

Abstract

Offshore wind farms are becoming widespread all over the world due to restrictions in the terrestrial areas in the growing wind energy market. Although the cost of offshore power plants is higher compared to onshore power plants, high resource quality eliminates this situation. In addition, today's developing technology and falling costs make offshore power plants more attractive than onshore power plants. There have been significant increases in the installed capacity of offshore power plants in the world, especially after 2010. Sectoral developments, energy security and the problem of global warming were effective in this increase. Offshore wind farms is gaining popularity all over the world in recent years. In our country, there is no offshore wind power plant yet. Offshore wind power plants in our country; there is a need to carry out developer work on issues such as to lack of operating experience, planning, commissioning and network connection. In this study, the installation/modeling stages of the offshore wind power plant are examined and then the connection principles to the related network are investigated. As an example, a virtual model of the power plant is obtained based on the scenario that a 40 MW offshore and a 40 MW classical wind power plant (onshore) near the Ezine district of

¹Sorumlu Yazar: İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye(ORCID: 0000-0001-8163-8898).ozanakdag@live.com

Çanakkale province are connected to 154 kV bus bar of the 154/34,5 kV transformer center and the virtual connection principles to the power system network were investigated.

(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

Keywords: Offshore wind farm, Load flow analysis, Short circuit analysis, Voltage supply converter.

1. Giriş

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler, insan nüfusunun artışı ve doğal kaynakların hızla azalması ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları kendi kaynağını sürekli kullanabilen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji, sürdürülebilir enerji politikaları açısından, iklim değişikliği ve küresel ısınmanın verdiği zararlı etkilerin azaltılması yönünden önemlidir (Efe, 2014). Rüzgâr, güneş, denizüstü rüzgâr vb. santraller potansiyellerinin yüksek olduğu yerler sera gazlarını indirgemede büyük bir potansiyele sahiptir (Nanou ve Papanthanasidou, 2016). Bu gibi özelliklerinden dolayı tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan denizüstü rüzgâr santralleri bazı avantajlarından dolayı klasik rüzgâr santralleri ile rekabet edecek gibi görülmektedir. Klasik rüzgâr santrallerinin (karaüstü rüzgâr santrali) karada özellikle engebeli arazilerde kurulmasının sağlanması, karasal alan gereksiniminin olması, açık denizlere göre rüzgâr potansiyelinin az olması, rüzgâr akışının karada açık denizlere göre istikrarsız olması vb. gibi durumlardan dolayı denizüstü rüzgâr santrallerine olan talep artmaktadır (Koroglu, 2011). Diğer taraftan denizüstü rüzgâr santralleri, klasik rüzgâr santrallerine göre daha karmaşık yapıdadır. Denizüstü rüzgâr santralleri dünyanın büyük bir bölümünün okyanus ve denizlerden oluşmasından dolayı büyük bir gelişme potansiyeline sahiptir. Bu yüzden Avrupa Birliği (AB) enerji politikalarında önemli bir yere sahiptir. AB'nin stratejik enerji planlamaları dâhilinde 2050 yılına kadar, 188 GW ve 460 GW kurulu güce sahip okyanus enerjisinden çeşitli yöntemler ile enerji elde edilmesine dayalı santral kurulmasını planlanmaktadır (Perez ve ark., 2014). Ülkemizde ise toplam yenilenebilir enerjiye dayalı santrallerin üretim kapasitesi 2023'e kadar 20 GW çıkarılması planlanmaktadır (Karık ve ark., 2017). Bu planlamadan dolayı ülkemizde teşvik, yatırımcı bilinçlendirme ve alt yapı yatırımlarının yapılması gibi birçok çalışma yapılmaktadır. Türkiye Enerji Bakanlığı ülkemizin ilk denizüstü rüzgâr santralini (1200 MW) yapılma çalışmalarını 2018'in sonunda başlayacaktır. Literatürde genelde Türkiye'nin denizüstü rüzgâr santralini potansiyelinin değerlendirilmesi ve teknik maliyeti üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak, Argin ve Yerci Türkiye'de Karadeniz Bölgesi'nin deniz üstü rüzgâr potansiyelini WASP yazılımı kullanarak tespit etmişlerdir (Argin ve Yerci 2017). Cali ve arkadaşları yaptığı çalışmada Bozcaada'nın deniz üstü rüzgâr potansiyeli değerlendirip tekno-ekonomik analizini yapmışlardır (Cali ve ark., 2018). Satir ve arkadaşları ise yaptığı çalışmada Ege Denizde WINDPRO yazılımı kullanarak, bu bölgenin deniz üstü rüzgâr potansiyelini değerlendirip, tekno-ekonomik analizini yapmışlardır (Satir ve ark., 2018). Bu çalışmada ise örnek bir denizüstü rüzgâr santralini klasik bir rüzgâr santrali ile Türkiye iletim sistemine entegre edilmesi çalışması, denizüstü rüzgâr teknolojisi açıklanarak yapılmıştır. Sonrasında bu güç sisteminde yük akış, kısa devre, dinamik simülasyon analizi yapılmıştır. Böylece bu yayının Türkiye'de bu konuda yapılacak çalışmalara yol gösterici nitelik de olması düşünülmüştür.

Bu yayın aşağıdaki bölümlerde ele alınmıştır. Bunlar;

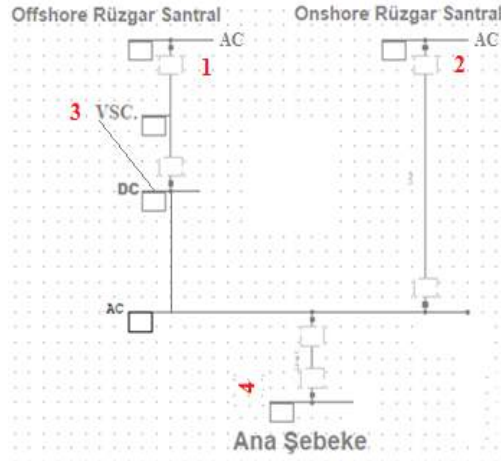
- Denizüstü rüzgâr santral sistemi, VSC (Voltage Source Control),
- Ön saha çalışması,
- Denizüstü/Karaüstü rüzgâr santrali ve 154 kV Çanakkale civarı iletim sisteminin modellenmesi,
- Yük akış ve kısa devre arıza analizi,
- Dinamik Simülasyon analizi,
- Karaüstü rüzgâr santralini reaktif güç kapasite analizi (P/Q-V/Q Diyagramı),

Bu aşamaların sanal modelde ele alınmasında, DigSilentPowerFactory V.15.1.6 (PowerFactory, 2017) yazılımı kullanılmıştır. Bu çalışma ilgili bölge için denizüstü rüzgâr santrallerinin şebeke bağlantı noktasındaki analizlerinin yapılması ve gerçek güç sistemine etkilerinin tartışılması yönünden ilk olma özelliği taşımaktadır.

2. Materyal ve Metod

2.1. DENİZÜSTÜ RÜZGÂR SANTRAL SİSTEMİ

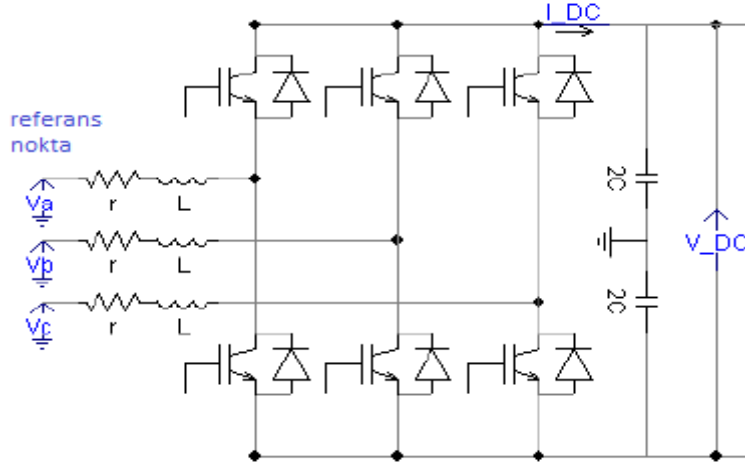
Denizüstü rüzgâr santralini mevcut güç sistemine entegre etmede 2 yol vardır. Bunlar HVAC (Yüksek gerilimde AC iletim), HVDC (Yüksek gerilimde DC iletim)'dir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde enerji iletimi AC olarak yapılır. Bu iki sistem arasındaki dönüşüm işlemleri yüksek gerilimli doğru akım dönüştürücüler ile sağlanır (Shah ve ark., 2016). HVDC iletimi SVC (static var compensation) ve STATCOM gibi reaktif güç kompanzasyonuna ihtiyaç duymaz. Ayrıca deniz altı iletimde HVDC sistem daha uygundur. Bu yüzden özellikle kıyıda uzak olan santrallerde HVDC iletimin kullanılması avantaj sağlar. Bu çalışmada oluşturulan güç sistemi Şekil 1'de görülen prensip şemasına sahiptir. Şekil 1'deki gibi HVDC sistemin kullanılıp tekrardan HVAC sisteme dönüştürülmesindeki amaç ülkemizde ilerleyen yıllarda bu dönüşüm sistemlerinin daha yaygın kullanılacağına ön görülmesinden dolayıdır. Şekil 1'de yer alan VSC (voltage source control) voltaj kaynağı dönüştürücüdür. VSC aktif güç ve gerilimi belirleyerek bir P-V ya da P-Q kontrolör olarak çalışır (Jerko, 2014).



Şekil 1. Çalışma için oluşturulan modelin basitleştirilmiş hali

2.1.1. VSC

Denizüstü rüzgâr santrallerinde VSC teknolojisi ile DC çok-terminalli şebekeler oluşturulabilir. VSC'lerin yapısı DC bileşenler ve diğer kontrol elemanlarının bir arada tutulması ile oluşur (Jerko, 2014). VSC teknolojisi önümüzdeki yıllarda ülkemizde DC iletim sistemlerinin artışı ile daha geniş kullanım alanı bulacaktır. İlerleyen yıllarda güç yoğunluğunun artışı ile mevcut iletim hatlarında güç kalitesi problemi ortaya çıkacaktır. Bu durumu önlemede VSC teknolojisi yardımcı olacaktır (Suwan ve Jordanien, 2017). VSC teknolojisinde yarı iletken malzemelerden oluşan IGBT modüller kullanılır. Gerilim dalga şekli üretmek için ise Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) kullanılır. PWM ile dalga şekli, faz açısı ve temel frekanslı bileşenlerin büyüklüğünün üretilmesi mümkündür (Suwan ve Jordanien, 2017). PWM ile aktif/reaktif güçler bağımsız olarak kontrol edilebilir. VSC-HVDC sisteminin temel çalışma prensibi Şekil 2'de görüldüğü gibidir (Van ve ark., 2009). AC reaktör olarak adlandırılan seri endüktans, AC iletim ağındaki sinusoidal akımı düzeltir. Ayrıca bu AC reaktör voltaj, akım, aktif/reaktif güç ölçümleri için referans nokta olacak şekilde kullanılabilir. DC tarafta yer alan şönt kapasitörler ise DC voltaj kaynağı ve güç sistemindeki harmoniklerin azaltılmasında kullanılır.



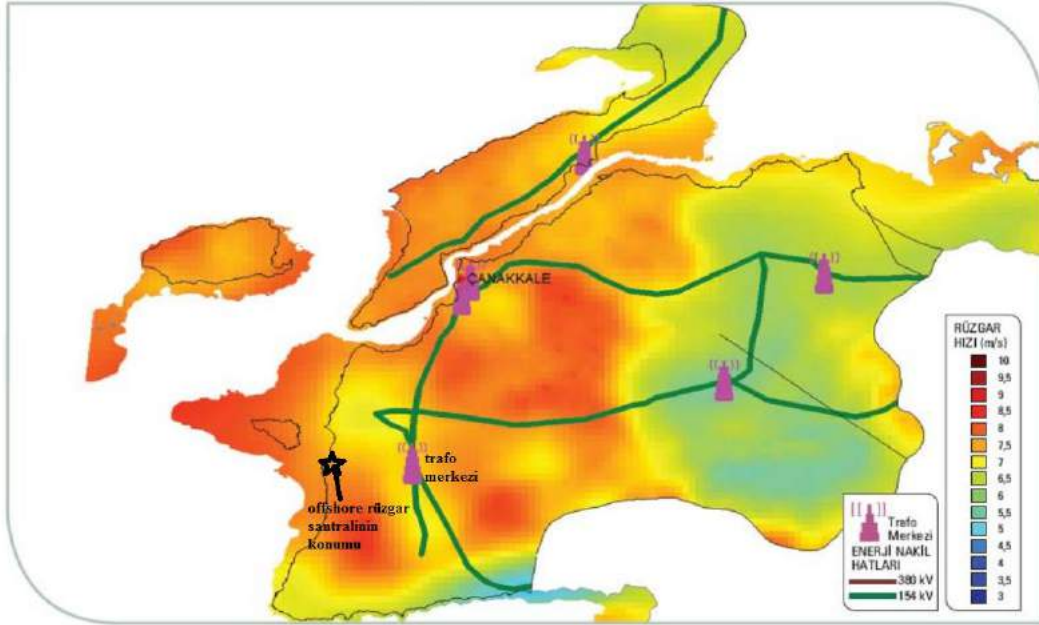
Şekil 2. VSC'nin iç yapısı

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

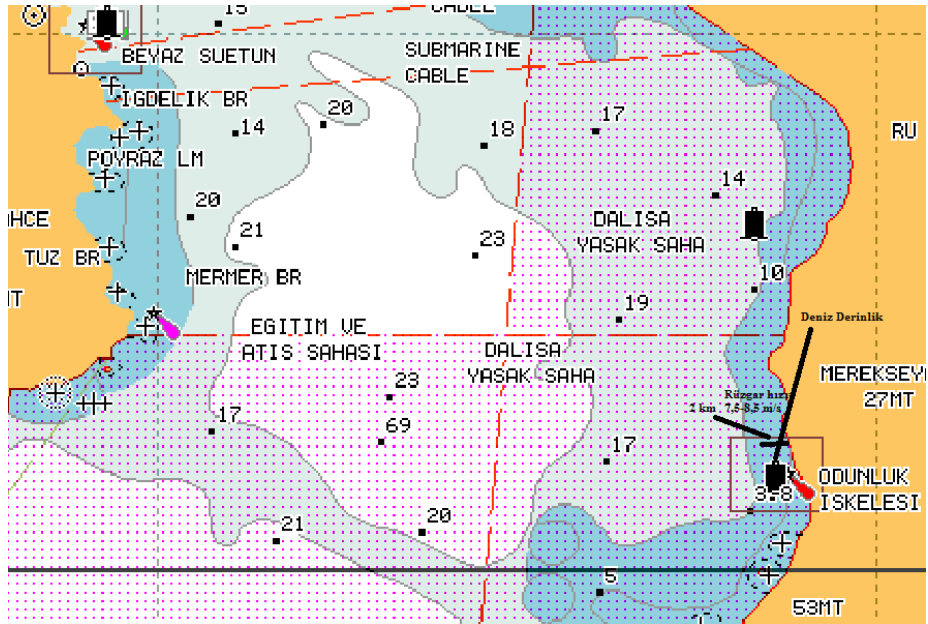
3.1. Ön Saha Çalışması

Denizüstü rüzgâr santrali kurulumunda: rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi, deniz derinliğinin seviyesi, deniz tabanının genel yapısı ve santralin kıyıda uzaklığı önemlidir. Denizüstü rüzgâr santrallerinde karadaki gibi yerden yüksek rüzgâr tribünlerine ihtiyaç yoktur. Çünkü açık denizde rüzgâr potansiyeli karaya göre daha yüksektir (Koroğlu, 2011). Bu çalışmada, ülkemizde Rüzgâr Enerji Santrali (RES) kurulumlarının oldukça yoğun olduğu ve bu RES'lerin verimlilik bakımından dünyada ilk sıralarda yer aldığı Çanakkale ili seçilmiştir. Şekil 3'de yenilenebilir Enerji Müdürlüğünden alınan Çanakkale iline ait global rüzgâr hızı haritası görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde özellikle Çanakkale ilinin kıyı şeridinde rüzgâr hızı 7 m/s'nin üstünde olduğu görülmektedir (Çanakkale, 2017). Bu bölgede ayrıca kapasite faktörü %35'in üstündedir. Bu iki özellik yönünden Çanakkale ili RES kurulumuna oldukça müsaittir. Bu rüzgâr haritasında kurulması düşünülen denizüstü rüzgâr santralinin yaklaşık yeri gösterilmiştir. Ayrıca bu bölgeye çok yakın bir 154 kV trafo merkezi olması da çok büyük bir avantajdır. Şekil 4'de Çanakkale ilinin Bozcaada ve Ezine ilçesi

arası kıta sahanlığı/deniz derinliği görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde bu bölgeye ait Bozcaada ve Ezine ilçesi arasında kıta sahanlığı içinde kalan bölgelerde rüzgâr hızı potansiyelinin karaya yakın olduğu görülür. Bu bölgede deniz derinliği 2 km açıklığa kadar 0-10 metre arasında değişmektedir. Bu değerler denizüstü rüzgâr santrali kurulumu açısından uygundur. Sonuç olarak tüm bu belirtilen gerekçelerden dolayı denizüstü rüzgâr santrali bu çalışmada Ezine ilçesinin (Odunluk İskelesi civarı) kıyı şeridinde kurulması üzerine kurgulanmıştır.



Şekil 3. Çanakkale Rüzgâr Haritası (Canakkale, 2017)



Şekil 4. Denizüstü rüzgâr santralini kurulması önerilen bölge

3.2. Güç Sisteminin Modellenmesi

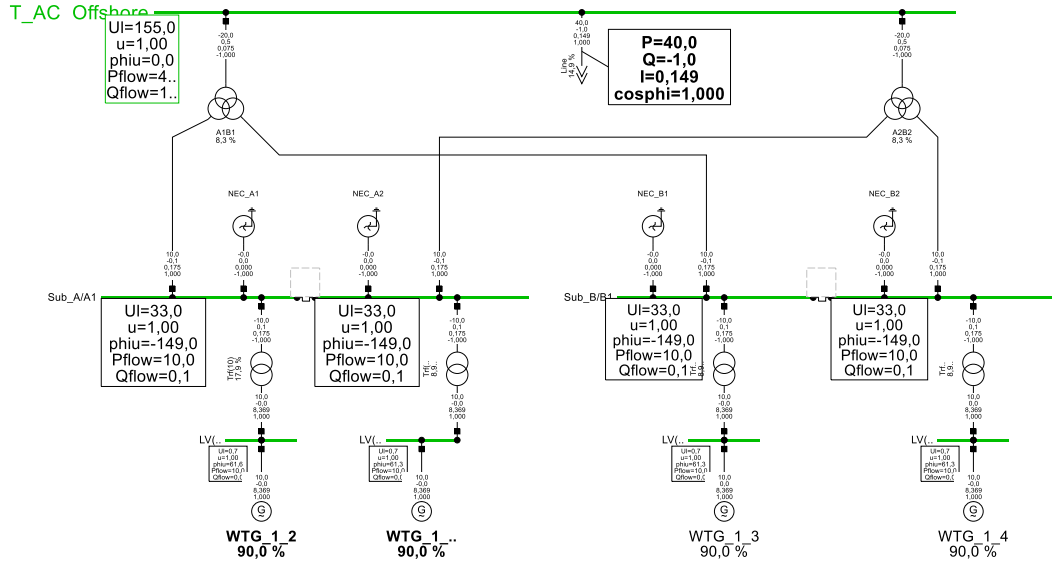
Şekil 1'de güç sisteminin basitleştirilmiş hali görülmektedir. Basitleştirilmiş bu modelde; güç sistemi bütün olarak 4 bölümde ele alınmıştır. Her bölümün DigSilent simülasyon yazılımında sanal modeli oluşturulmuştur.

3.2.1 Denizüstü Rüzgâr Santralinin Modellenmesi

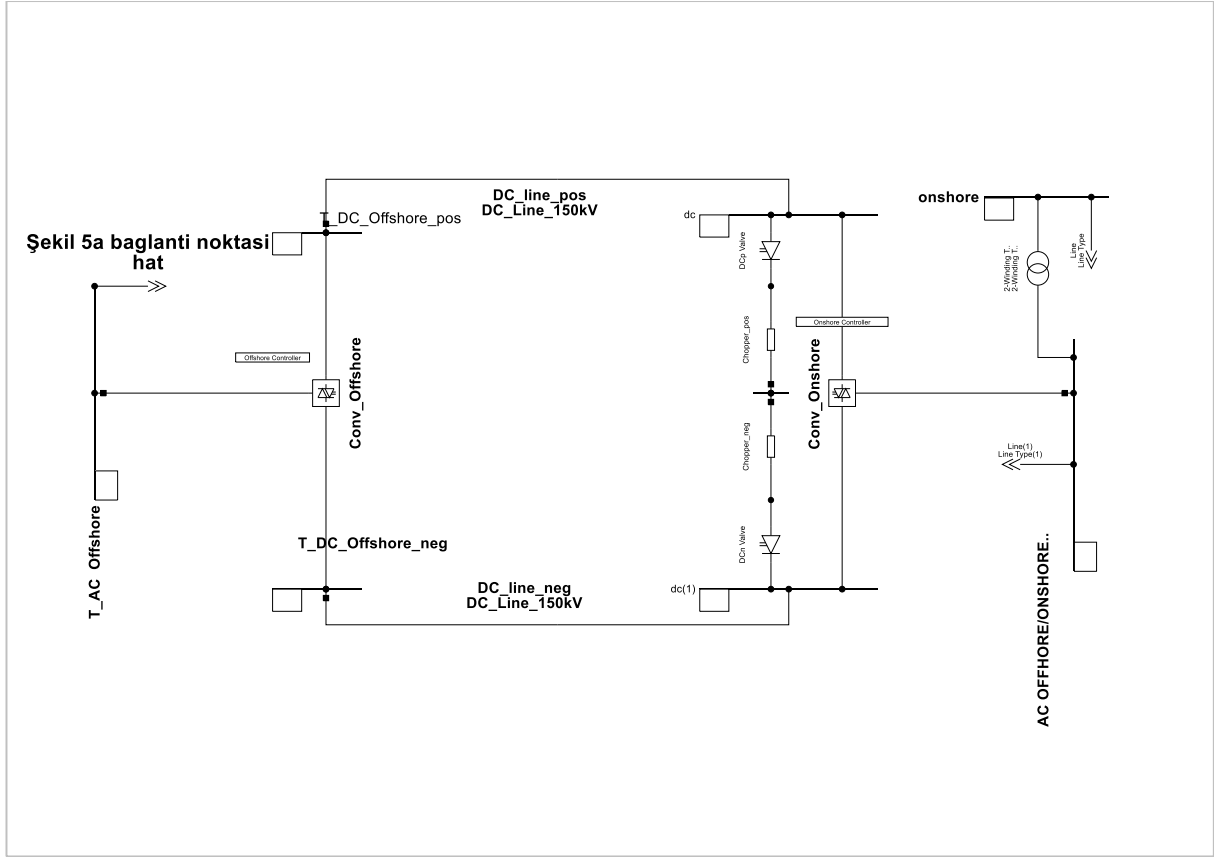
Denizüstü rüzgâr santrali toplam 8 adet rüzgâr tribününden oluşmaktadır. Rüzgâr tribünlerinin her birinin aktif gücü 5 MW, anma gerilimi 0,69 kV iken görünür gücü 5,5 MVA'dır. Rüzgâr tribünlerinin her biri 33/0,69kV'lık güç trafosu ile 33 kV'lık baraya dâhil edilir. Daha sonra bu baradan 2 grup halinde, 2 adet 154/33 kV'lık güç trafosu ile 154 kV'luk AC_Denizüstü barasına bağlanır. Bu bağlantılar ve denizüstü rüzgâr santrallerine ait bara gerilimleri ve toplam ürettiği aktif/reaktif güç Şekil 5a'da görüldüğü gibidir. Şekil 5b'de ise denizüstü santralin AC-DC-AC (HVDC) dönüşüm ünitesi görülmektedir.

3.2.2 Karaüstü Rüzgâr Santralinin Modellenmesi

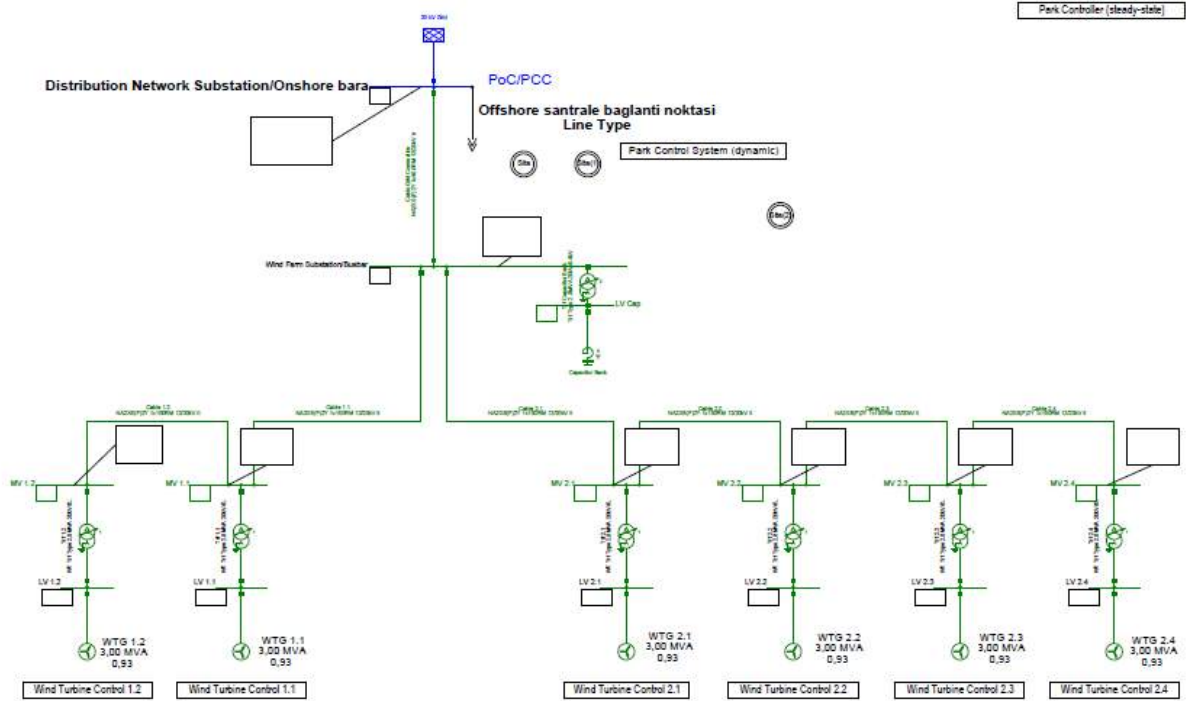
Modellenen karaüstü rüzgâr tribünü Şekil 6'da görüldüğü gibidir. Rüzgâr tribünlerinin hızına göre ürettiği güç bilgileri ise Şekil 7'deki gibi DigSilent yazılımında oluşturulan sanal modele girilir. Karaüstü rüzgâr santrali, offshore rüzgâr santralinin hemen deniz kıyısında yer alacak şekilde düşünülmüştür. Karaüstü rüzgâr santrali, her biri 2.5 MW'dan 16 adet rüzgâr tribününden oluşmaktadır. Şekil 6'da gösterilen her bir rüzgâr tribünü 3 adet rüzgâr tribününü temsil etmektedir. Karaüstü ve denizüstü rüzgâr santralleri Şekil 1'de görüldüğü gibi 154 kV baraya bağlanarak, ana şebeke ile ilişkilendirilir. Bu birleşik santralin toplam kurulu gücü bu çalışmada 80 MW olarak düşünülmüştür.



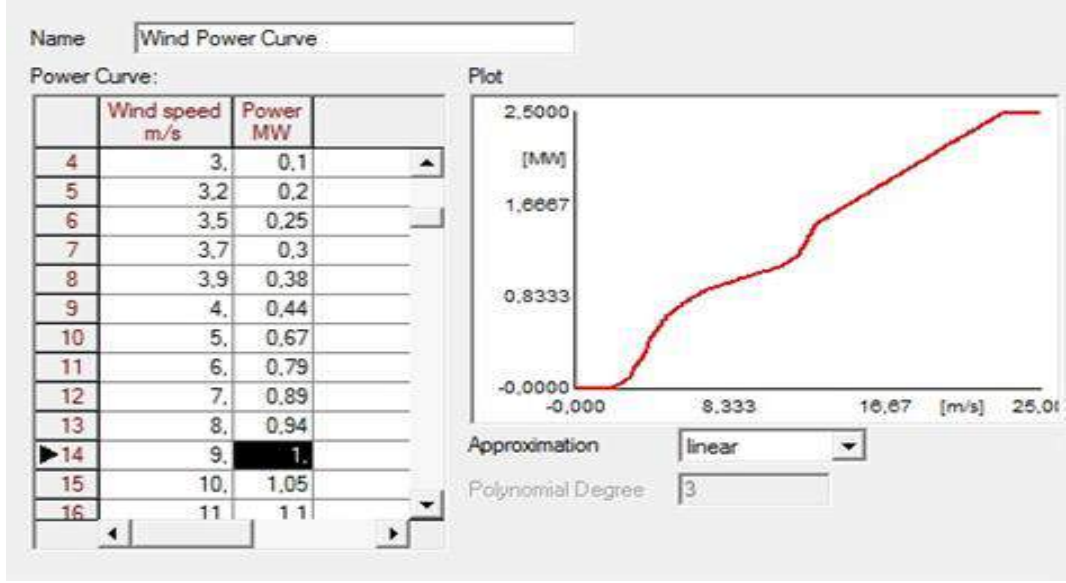
Şekil 5a. Denizüstü Rüzgâr Santralinin Modeli



Şekil 5b. Denizüstü santralin HVDC ünitesi



Şekil 6. Onshore Rüzgâr Santralinin Modeli

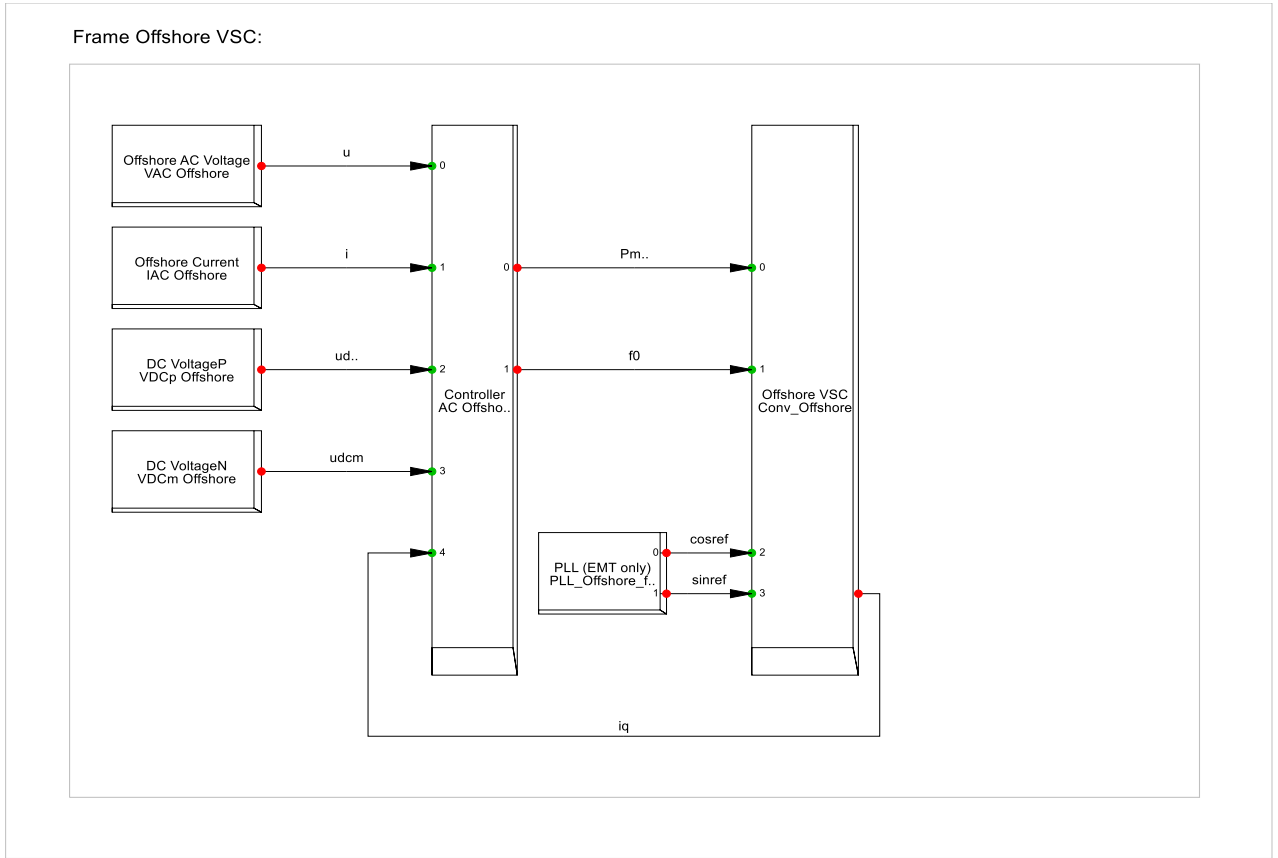


Şekil 7. Tasarlanan rüzgâr tribününün güç eğrisi

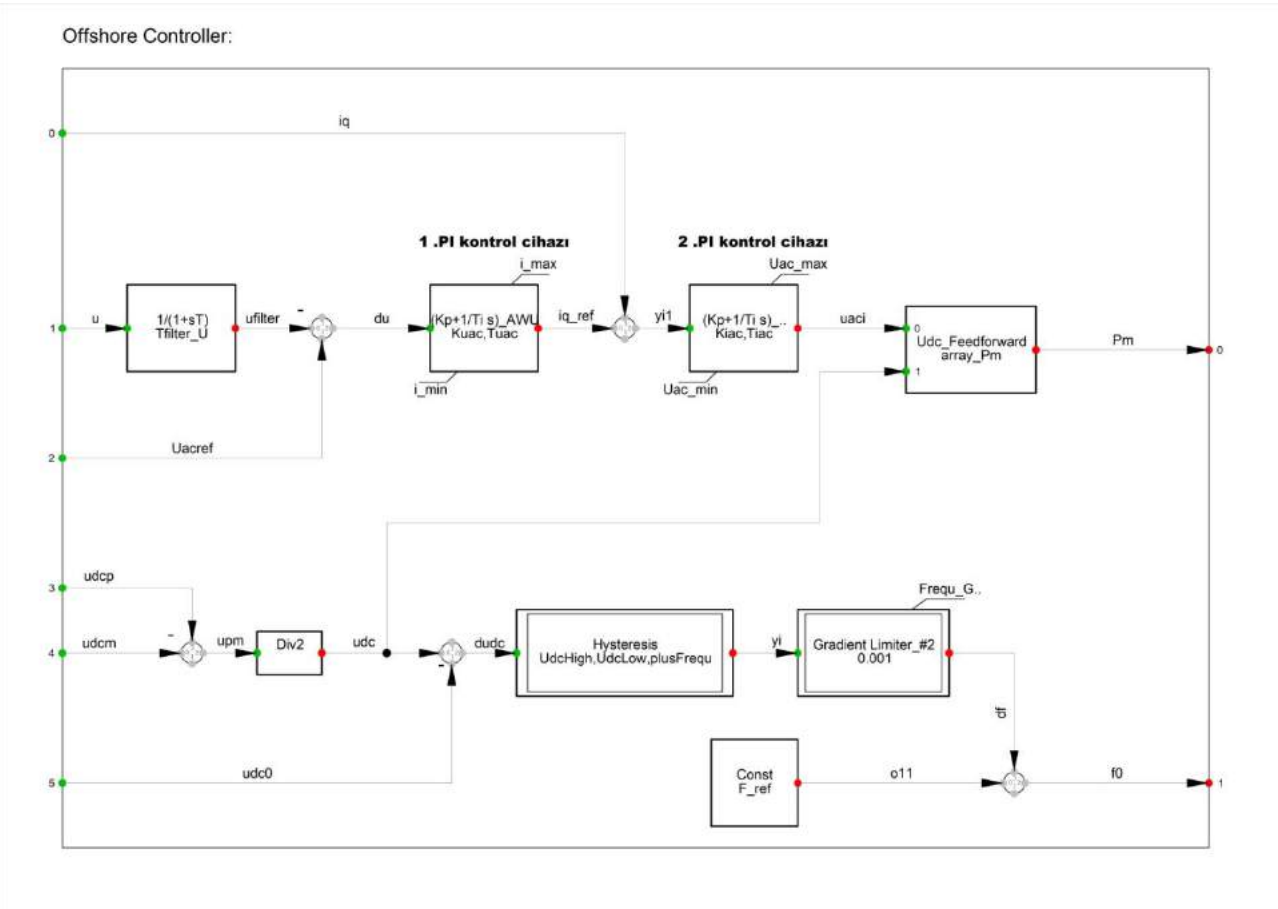
3.2.3 VSC Modeli

Çalışmadaki güç sisteminin ana yapısı Şekil 1’de görüldüğü gibidir. Çalışmada DC bağlantının kullanılması ilerde iletim sistemine, HVDC bir iletim ağının dâhil olma durumu varsayılarak yapılmıştır. HVDC bağlantısı, DigSilent Power Factory yazılımında bulunan VSC modülü ile sağlanmıştır. Bu modülde bulunan kontrolör ile denizüstü rüzgâr santralının şebeke geriliminin kontrolü sağlanır. Bu işlem AC şebekedeki frekans ve voltajın sabit bir değerde tutulması ile sağlanır (DIGSILENT, 2018). Voltaj ve frekansın sabit değerde tutulmasının nedeni aktif ve reaktif güç değerlerinin kontrolünün sağlanamamasıdır. Şekil 8’de denizüstü HVDC kontrol sisteminin genel yapısı görülmektedir. Şekil 8 incelendiğinde santrale ait AC voltaj/akımı ve DC voltajı (+/-) tespit etmede kullanılan ölçüm modülleri görülmektedir. Kontrolörün AC voltaj büyüklüğü ve frekansı sabit bir değerde olmalıdır. Bu işlem Şekil 8’de görülen ‘Pm’ (modülasyon endeksi) ve PWM dönüştürücü giriş frekansı ‘f0’ ile yapılır. Modülasyon endeksi, DC voltajlı (ileri yönlü besleme yapan) PI kontrolör ile kontrol edilir. Denizüstü dönüştürücü kontrolörün genel yapısı Şekil 9’da görüldüğü gibidir. Şekil 9 incelendiğinde ilk PI kontrol cihazı, AC voltaj saptamasını giriş sinyali olarak alıp, çıkışında reaktif akım üretir. 2. Kontrol cihazı PI ünitesinin çıkışı ise sonraki referans voltajının değeridir. Bu referans voltaj değeri *uacudc_Feedforward* bloğuna gelerek ölçülebilen voltaj değeri olan *udc’ye* bölünüp bir sabit ile çarpılır. Bu blok PWM kontrol bloğu olarak bilinir. Pm’i (modülasyon endeksi) sınırlayıcı bir karakteristiğe sahiptir.

Bu kontrol yapısı genel olarak, reaktif akımı sınırlayıcı özelliğindedir. Bu sınırlama genelde bir arıza durumunda devreye girer. Bu durumda reaktif akım *iq* geri besleme yaparak, dönüştürücüdeki voltaj değerini ayarlar. Ayrıca santralde yüksek DC voltajı durumu oluşmasında, Denizüstü santralin frekansını istenilmeyen seviyede yükselir. Bu yükseliş kontrol ünitesi ile bir sinyal olarak, rüzgâr tribünlerine getirilir. Böylece rüzgâr tribünlerine getirilen bu sinyal aktif gücü düşürerek frekansın normale dönmesini sağlar.



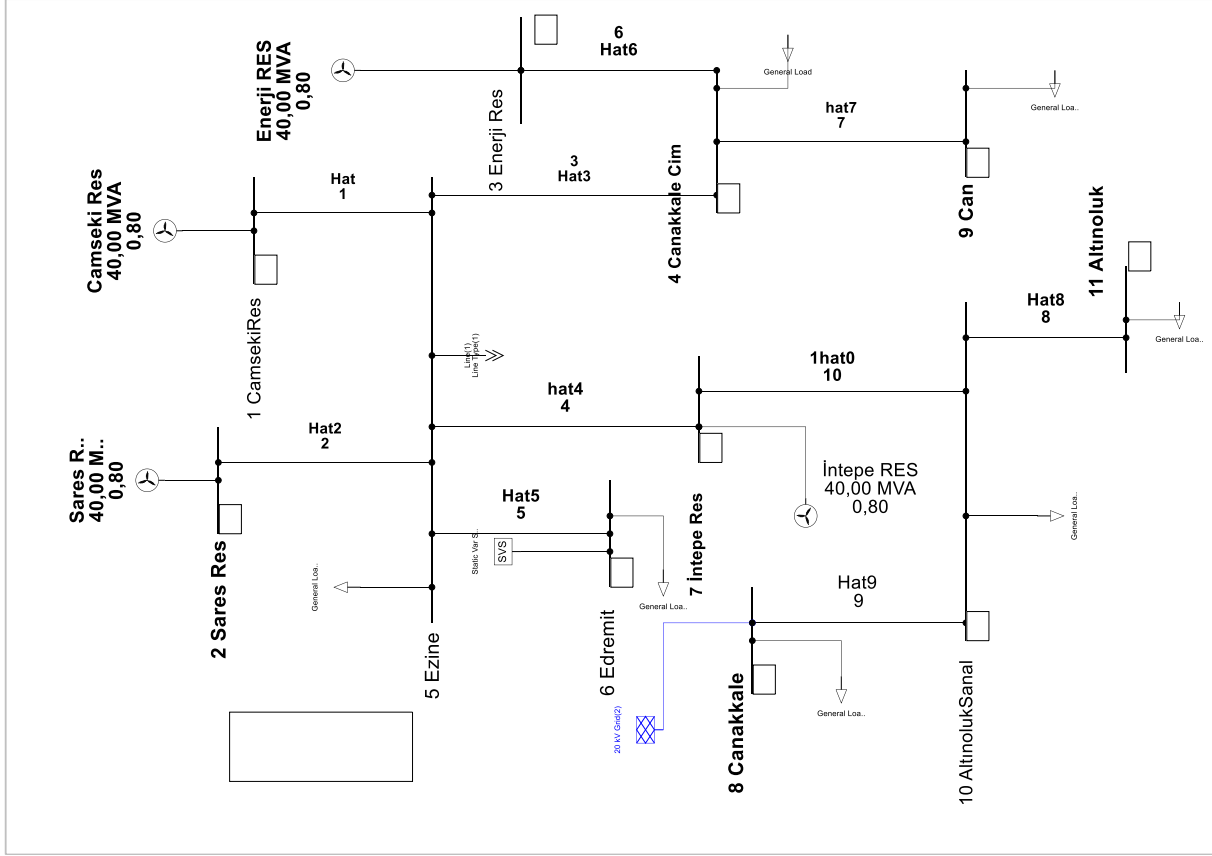
Şekil 8. Denizüstü HVDC kontrol sisteminin genel yapısı



Şekil 9. Denizüstü dönüştürücü kontrolörün genel yapısı

3.2.4 İletim Sisteminin Modeli

Bu çalışmada denizüstü/karaüstü rüzgâr santralının etkilerinin inceleneceği 154 kV'lık 11 baralılık Marmara iletim sisteminin kesiti Şekil 10'da görüldüğü gibidir. İletim hatlarının gerçek zamanlı çalışan sistemden alınan verileri ise Tablo 1'de görüldüğü gibidir (bu değerler km başına düşen değerlerdir). Tablo 1'de görülen S*-5 (baradan-baraya) görülen iletim hattı yaklaşık 14 km olarak kurgulanmıştır. Bu hat Denizüstü/karaüstü rüzgar santralinden gelen yükü 5 nolu Ezine barasına taşıyan iletim hattıdır. Baralara ait üretim/tüketim verilerinin tahmini değerleri ise Tablo 2'deki gibidir.



Şekil 10. Güç sisteminin tek hat şeması

Tablo 1.154 kV Enerji İletim Hattına ait veriler

nl	nr	R pu	X pu	R ₀ pu	X ₀ pu
1	5	0.026098 pu	0.197224 pu	0.167742 pu	0.598999 pu
2	5	0.052174 pu	0.43783pu	0.31532 pu	1.121644 pu
5	4	0.052195 pu	0.394479 pu	0.335483 pu	1.197998 pu
5	7	0.052195 pu	0.394479 pu	0.335483 pu	1.197998 pu
5	6	0.052195 pu	0.394479 pu	0.335483 pu	1.197998 pu
3	4	0.0822 pu	0.38577 pu	0.2936 pu	1.312 pu
4	9	0.06946 pu	0.403469 pu	0.355375 pu	1.2057 pu
10	11	0.134216 pu	0.421587 pu	0.423006pu	1.225262 pu
8	10	0.134216 pu	0.421587 pu	0.423006pu	1.225262 pu
7	10	0.052174 pu	0.437832 pu	0.315322 pu	1.121644 pu
S*	5	0.134216 pu	0.421587 pu	0.423006pu	1.225262 pu

Tablo 2. 154 kV Güç Sistemine ait Bara değerleri

Barano	Bara kod	Yük		Generator		Generator	
		P	Q	P(min)	P(max)	Q(min)	Q(max)
1	2	0 MW	0 MVAR	0 MW	20 MW	0 MW	4 MW
2	2	0 MW	0 MVAR	0 MW	24 MW	0 MVAR	4 MVAR
3	2	0 MW	0 MVAR	0 MW	30 MW	-4 MVAR	4 MVAR
4	0	45 MW	2 MVAR	0 MW	0 MW	0 MVAR	0 MVAR
5	2	60 MW	3 MVAR	0 MW	85 MW	-15 MVAR	15 MVAR
6	0	10.5 MW	1.1 MVAR	0 MW	0 MW	0 MVAR	0 MVAR
7	2	0 MW	0 MVAR	0 MW	30 MW	-4 MVAR	4 MVAR
8	0	40 MW	1.5 MVAR	0 MW	0 MW	0 MVAR	0 MVAR
9	0	10 MW	0.2 MVAR	0 MW	0 MW	0 MVAR	0 MVAR
10	1	13 MW	1 MVAR	- MW	- MW	- MVAR	- MVAR
11	0	12 MW	1 MVAR	0 MW	0 MW	0 MVAR	0 MVAR

* BARA KOD 1= salinimbarası, 2= üretimbarası, 0= tüketimbarası

3.3. Yük Akış Analizi

Güç sistemlerinde, güç üretiminin ve tüketiminin işletme sınırları içinde kalarak, yük akışının dengeli bir biçimde yapılması önemlidir. Yük akış analizi: Bara gerilimlerinin kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı, farklı güç sistemi teçhizatlarının şebekenin yüklenmesine nasıl etki ettiği, güç sisteminin zayıf noktalarının ne olduğu, güç sisteminde kayıpların oranı, koruma koordinasyonunun nasıl sağlıklı yapılacağı vb. önemli konularda bilgi verir (Akdağ ve ark., 2018). Böylece mevcut güç sistemi hakkında genel bir bilgi vererek, gelecek planlanmasının yapılmasına da olanak sağlar. Yük akış analizleri mevcut bir güç sisteminin sanal ortamda modellenmesi yapılarak analiz edilebilir. Modelleme, simülasyon ve analiz güç sistemleri mühendisliği alanında yapılacak çalışmalarda, kaliteli bir sistem tasarlamada kullanılan önemli bir yöntemidir. Mevcut kurulu sistemlerde bir değişiklik yapılması Rus ruleti oynamaya benzer. Yapılan değişikliğin öngörülemez etkilerinin maliyeti çok yüksek olabilir. Ama bir sistemin sanal ortamda modelini oluşturup simülasyonu yapılırsa, sınırsız özgürlükle deneme yapma, değişikliklerin sonuçlarını görme imkânı yakalanmış olur. Bu çalışmada 154 kV-11 baralılık Marmara bölgesi iletim sistemi modellenerek, bu sisteminin 154 kV'luk Ezine barasına eklenilmesi düşünülen Denizüstü/karaüstü rüzgâr santralının yük akış analizi yapılmıştır. Çalışmada yük akış analizinde güç sisteminde güç dengesini oluşturmak için DigSilent programında 10 nolu Altınoluk sanal barası (salınım barası) (slackbusbar) olarak seçilmiştir. Bu seçim ile bu baranın aktif gücü güç sistemine göre sürekli değiştirilerek denge sağlatılmaya çalışılmıştır. Aktif güç kontrolü bu şekilde dengelenmiştir. Reaktif güç kontrolü ise DigSilent yazılımında güç sistemindeki generatörlerin reaktif güç rezervleri kullanılarak yapılmıştır (1-2-3-5-7. Baralar). Güç sisteminde baralardaki gerilim değerlerinin işletme koşulları içinde kalmasında nispeten bu generatörlerin voltaj regülatörleri kullanılmıştır.

154 kV Marmara B. iletim sisteminde DigSilent yazılımında yük akış analizi yapılarak, test edilmiştir. Bu sistemde 1-2-3-5-7 nolu baralar üretim barası iken 10 nolu bara salınım barasıdır. Diğer baralar ise tüketim barasıdır (üretim baralarından 5 nolu Ezine barası ve 10 nolu salınım barasındada tüketimde mevcuttur). Tüm baralarda bara gerilimleri 0.95 pu ve 1.05 pu arasında olacak işletme sınırları arasında kalması istenilen durumdur. Yük akış analizi denizüstü/karaüstü santralin devrede olması/olmaması durumu göz önüne alınarak analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3'de görüldüğü gibidir. 11 baralılık Marmara Bölgesi fiderlerdeki bara gerilim değerleri denizüstü/karaüstü santralının şebekeye aktardıkları güç ile değişmektedir. Bir güç sistemi, müşterilerinin istediği gücü karşılamalı ve bara gerilimleri işletme sınırları içinde kalmalıdır. Şebekede bulunan generatörler belirlenen limitler içinde çalışmalı ve şebeke ile trafolar aşırı yüklenmemelidir. Tablo 3 incelendiğinde denizüstü/karaüstü rüzgâr santrallerinin devreye girmesi ile bara gerilim değerleri iyileşerek güç sisteminin gerilim kararlılığının daha da üst seviyeye çıkmasına katkı sağlamıştır. Yük akışı analizde denizüstü/karaüstü rüzgâr santralının tam güç kapasitede olduğu durum alınarak analiz edilmiştir. Analizde santral 73.5 MW aktif güç, 11.3 MVAR reaktif güç üretmiştir. Santral devreye girmeden önce güç sisteminde toplam aktif güç kayıpları (saatlik bazda) 9.03 MW iken santralin devreye girmesi ile bu kayıplar 7.83 MW seviyesine düşmüştür. Santralin devreye girmesi ile ortalama güç sisteminde yıllık 10368000kWh bir tasarruf sağlayacağı ön görülmektedir.

Tablo 3. Yük Akış Analizi Sonuçları

YÜK AKIŞ ANALİZİ SONUÇLARI		
	DENİZÜSTÜ/ONSHORE DEVREDE İKEN	DENİZÜSTÜ/ONSHORE DEVREDE DEĞİL İKEN
P1Generator	20 MW	20 MW
P2Generator	24 MW	24 MW
P3Generator	30 MW	30 MW
P5Generator	73.5 MW	0 MW
P7Generator	26 MW	26 MW
P10Generator	18.2 MW	93.1 MW
Q1Generator	0.5 MVAR	0.5 MVAR
Q2Generator	1.9 MVAR	1.9 MVAR
Q3Generator	2 MVAR	2 MVAR
Q5Generator	11.3 MVAR	0 MVAR
Q7Generator	3.9 MVAR	3.9 MVAR
Q10Generator	93.1 MVAR	-13.9 MVAR
V ₁	153.9 kV-1pu	153.3 kV-1pu
V ₂	154 kV-1pu	154 kV-1pu
V ₃	153.9 kV-1pu	153.2 kV-0.99pu
V ₄	153.9 kV-1pu	153.2 kV-0.99pu
V ₅	153.9 kV-1pu	153.2 kV-0.99pu
V ₆	150.9 kV-0.98pu	150.3 kV-0.98pu
V ₇	152.7 kV-0.99pu	157.4 kV-1.02pu
V ₈	153.6 kV-1pu	153.6 kV-1pu
V ₉	153.5 kV-1pu	152.8 kV-0.99pu
V ₁₀	153.9 kV-1pu	154 kV-1pu
V ₁₁	152.99 kV-0.99pu	152.9 kV-0.99pu
Denizüstü/Onshore AC bara	154 kV-1pu	-
Pdemand	190.5 MW	190.5 MW
Ptotalkayıp	7.83 MW	9.03 MW

3.4. Kısa Devre Arıza Analizi

Bu çalışmada mevcut sistemine büyük ölçekli denizüstü/karaüstü rüzgâr santralinin entegrasyonu ile kısa devre seviyesindeki değişimlerden dolayı bütün halinde güç sisteminin kısa devre arıza analizi yapılması gerekir. Kısa devre seviyesindeki değişimler ile mevcut güç sistemindeki teçhizatların bara kısa devre dayanım sınırlarını zorlayıp zorlamadığını tespit edilebilir. Ayrıca değişen bu akım değerlerine göre enerjinin sürekliliği sağlanması yönünden korunma koordinasyonunun doğru yapılması için kısa devre arıza analizleri oldukça önemlidir. Kısa devre hesaplamalarında 3 fazlı kısa devre arızası güç sistemi için en riskli durumu belirtir. Bu yüzden çalışmada 3 faz kısa devre arızası üzerinde durulmuştur. DigSilent yazılımı ile denizüstü/karaüstü rüzgâr santrali devre değil iken yapılan 154 kV Çanakkale ve civarı iletim sistemindeki tüm baralarda 3 faz kısa devre arıza analizi sonuçları Şekil 11'de görüldüğü gibidir. Kısa devre arıza analizlerinde IEC-60909 standardı seçilmiştir.

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım	Offshore Canakkale Farm(15)				DigSILENT		Project: Example	
DigSILENT GmbH					4.1 P-Q Diagram at 20.0kV Max. 3-Phase Short-Circuit IEC 60909				PowerFactory 2018 SP1		Date: 26.10.2018	
Fault Locations with Feeders					Short-Circuit Calculation / Method : IEC 60909				3-Phase Short-Circuit		/ Max. Short-Circuit Currents	
Grid: Wind Farm Grid					System Stage: Wind Farm Grid				Annex:		/ 2	
	rtd.V. [kV]	Voltage [kV]	c- [deg]	Factor	Sk" [MVA/MVA]	Ik" [kA/kA]	[deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]
2 Sares Res	154,00	27,34	93,91	1,10	1244,64 MVA	4,67 kA	-73,97	7,15 kA	4,67	1244,64	4,67	4,68
3 Enerji Res	154,00	30,33	93,87	1,10	1278,30 MVA	4,79 kA	-73,60	7,34 kA	4,79	1278,30	4,79	4,8
4 Canakkale Cim	154,00	30,44	93,87	1,10	1281,04 MVA	4,80 kA	-73,59	7,36 kA	4,80	1281,04	4,80	4,81
5 Ezine	154,00	30,88	93,86	1,10	1286,57 MVA	4,82 kA	-73,54	7,39 kA	4,82	1286,57	4,82	4,83
6 Edremit	154,00	170,11	97,49	1,10	913,22 MVA	3,42 kA	-62,03	5,05 kA	3,42	913,22	3,42	3,43
7 İntepe Res	154,00	0,00	0,00	1,10	1388,96 MVA	5,21 kA	-81,26	8,36 kA	5,21	1388,96	5,21	5,22
8 Canakkale	154,00	3,88	90,29	1,10	1458,42 MVA	5,47 kA	-79,44	9,11 kA	5,47	1458,42	5,47	5,5
9 Can	154,00	12,83	96,74	1,10	1001,71 MVA	3,76 kA	-75,04	5,79 kA	3,76	1001,71	3,76	3,76
1 CamsekiRes	154,00	28,61	93,94	1,10	1259,01 MVA	4,72 kA	-73,76	7,23 kA	4,72	1259,01	4,72	4,73
10 AltınolukSanal	154,00	0,00	-90,00	1,10	1576,98 MVA	5,91 kA	-80,02	9,89 kA	5,91	1576,98	5,91	5,93
11 Altınoluk	154,00	20,33	91,52	1,10	954,44 MVA	3,58 kA	-76,98	5,85 kA	3,58	954,44	3,58	3,59

Şekil 11. Denizüstü/onshore santral devrede değil iken 3 faz kısa devre arızası sonucu oluşan veriler

DigSilent yazılımı ile denizüstü/karaüstü rüzgar santrali devrede iken yapılan 3 faz kısa devre arıza analiz sonuçları Şekil 12’de görüldüğü gibidir.

GmbH	4.1 P-Q Diagram at 20.0kV Max. 3-Phase Short-Circuit IEC 60909				PowerFactory 2018 SP1		Date: 26.10.2018					
Fault Locations with Feeders					Short-Circuit Calculation / Method : IEC 60909				3-Phase Short-Circuit		/ Max. Short-Circuit Currents	
Grid: Wind Farm Grid					System Stage: Wind Farm Grid				Annex:		/ 1	
	rtd.V. [kV]	Voltage [kV]	c- [deg]	Factor	Sk" [MVA/MVA]	Ik" [kA/kA]	[deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]
1 CamsekiRes	154,00	12,75	94,18	1,10	1561,82 MVA	5,86 kA	-77,97	9,76 kA	5,86	1561,82	5,86	5,87
10 AltınolukSanal	154,00	8,21	93,94	1,10	1466,71 MVA	5,50 kA	-78,96	9,79 kA	5,50	1466,71	5,50	5,52
11 Altınoluk	154,00	19,31	93,91	1,10	770,65 MVA	2,89 kA	-75,81	4,98 kA	2,89	770,65	2,89	2,90
2 Sares Res	154,00	11,92	94,21	1,10	1520,07 MVA	5,70 kA	-78,22	9,50 kA	5,70	1520,07	5,70	5,72
3 Enerji Res	154,00	13,75	94,05	1,10	1613,32 MVA	6,05 kA	-77,79	10,07 kA	6,05	1613,32	6,05	6,07
4 Canakkale Cim	154,00	13,76	94,05	1,10	1621,01 MVA	6,08 kA	-77,79	10,12 kA	6,08	1621,01	6,08	6,09
5 Ezine	154,00	14,01	94,03	1,10	1636,73 MVA	6,14 kA	-77,73	10,22 kA	6,14	1636,73	6,14	6,15
6 Edremit	154,00	137,10	101,63	1,10	870,73 MVA	3,26 kA	-57,36	4,87 kA	3,26	870,73	3,26	3,27
7 İntepe Res	154,00	26,41	93,70	1,10	1591,02 MVA	5,96 kA	-77,95	10,00 kA	5,96	1591,02	5,96	5,98
8 Canakkale	154,00	10,58	93,65	1,10	1318,25 MVA	4,94 kA	-78,29	8,74 kA	4,94	1318,25	4,94	4,96
9 Can	154,00	8,23	95,57	1,10	1018,66 MVA	3,82 kA	-78,70	6,40 kA	3,82	1018,66	3,82	3,83

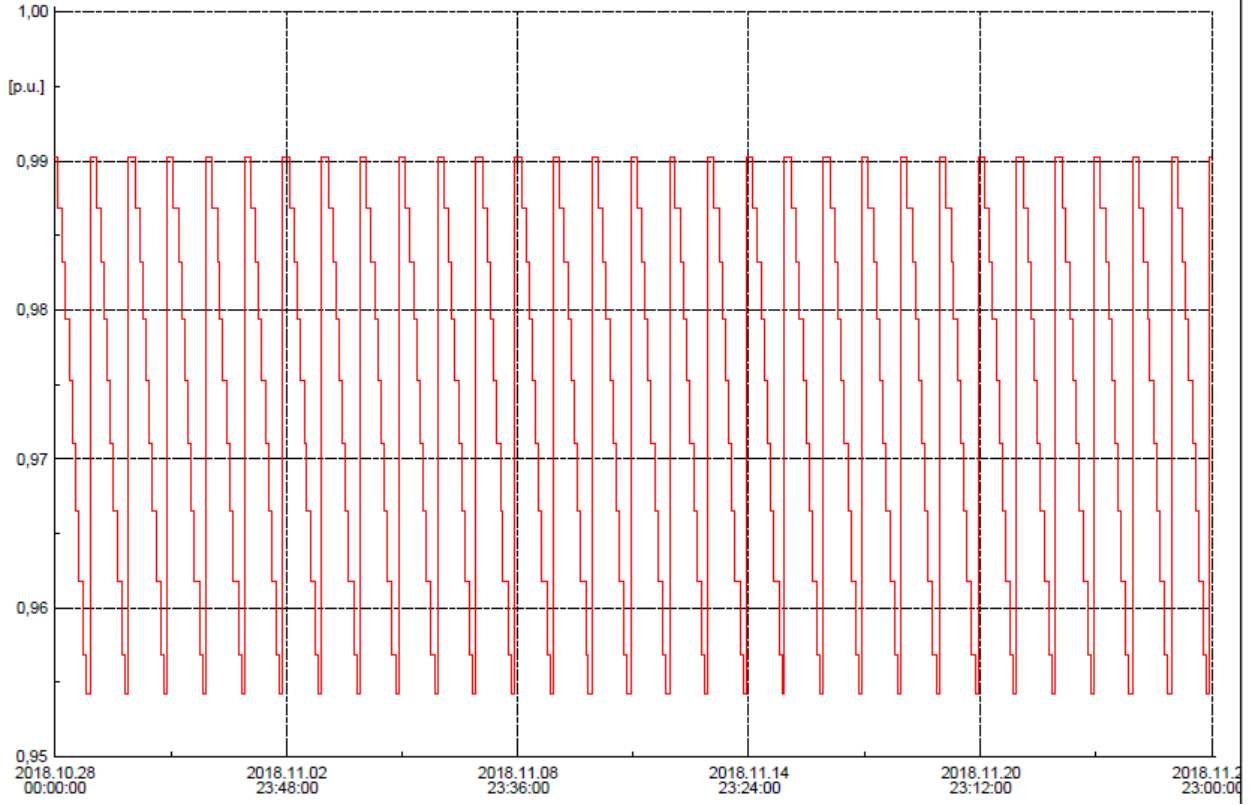
Şekil 12. Denizüstü/onshore santral devrede iken 3 faz kısa devre arızası sonucu oluşan veriler

Sonuç olarak 3-faz arıza analizi ile denizüstü/karaüstü rüzgâr santralinin bağlı olduğu Ezine barasında 3 faz arıza akım değeri santral devrede değil iken 4.82 kA iken santral devreye girdiğinde 6.14 kA olmuştur. Bu değer Elektrik Şebeke Yönetmeliğinin Madde-14’de iletim sistemi şalt teçhizatı için kısa devre arıza akımına dayanma kapasitesi; 154 kV için 31.5 kA, belirlenmesi hükmü ile uyumlu olduğu görülmüştür (EŞY, 2014).

3.5. Dinamik Simulasyon Analizi

Dinamik simulasyon analizi paketi orta ve uzun vadeli simulasyon çalışmalarında kullanılan zamana bağlı yük akış analizi yapmaya yarayan DigSilent’a ait bir modüldür. Bu modül ile simulasyon periyodu ve simulasyon adım aralığı gibi parametreler

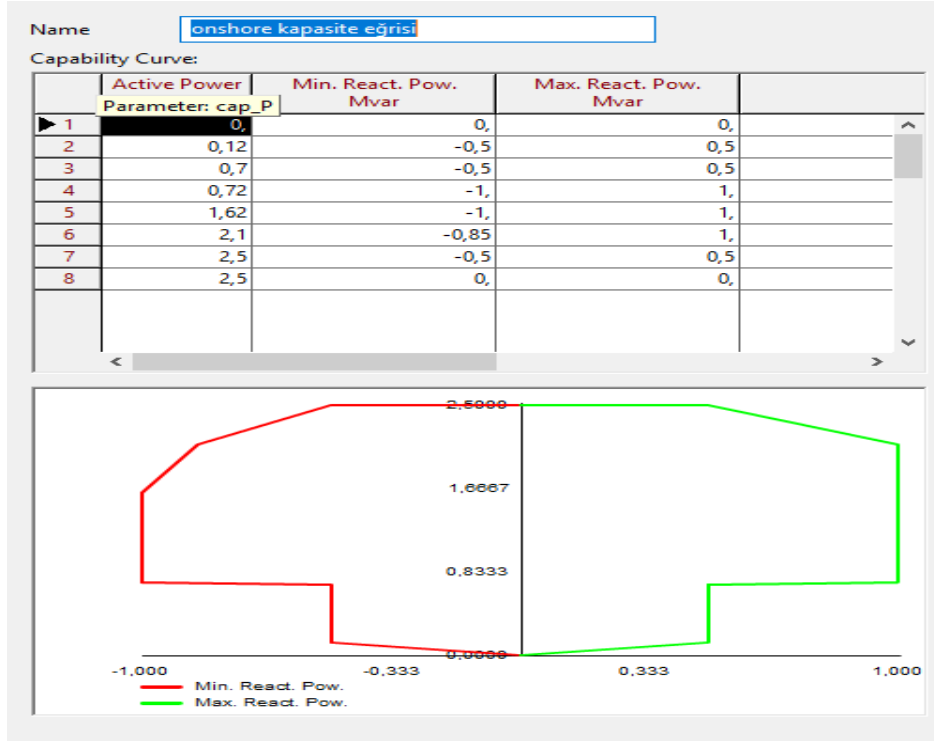
belirlemek mümkündür. Bu özellik ile güç sisteminin istenilen işletme koşullarında sistem performansı hakkında bilgiler alınabilir. Bu çalışmada ofshore/karaüstü rüzgâr santralinin belli bir zaman aralığında güç sistemine etkisi analiz edilmiştir. Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı nominal işletme koşullarında olan bir güç sisteminde geriliminin istenilen sınırlarda kalması ile ifade olur. İlgili baraya ait gerilim dalgalanması 0.95 pu-1.05 pu sınırlarında kalması istenilir (EŞY, 2014). Örnek güç sisteminde, denizüstü/karaüstü rüzgâr santralinin 28.10.2018-28.11.2018 tarihleri arasında gün içinde minimum %10, maksimum %95 kapasite ile 11 baralık Marmara iletim sistemine aktif güç verecek şekilde bir işletme senaryosu oluşturulsun. Şekil 13’de gösterilen ve ilgili güç sistemine Denizüstü/karaüstü santraline ait baranın gerilim değeri 0.95 pu ve 0.99 pu aralığında kaldığı görülmektedir. Böylece santral belirlenen zaman aralığında istenilen gerilim aralığında kalmıştır.



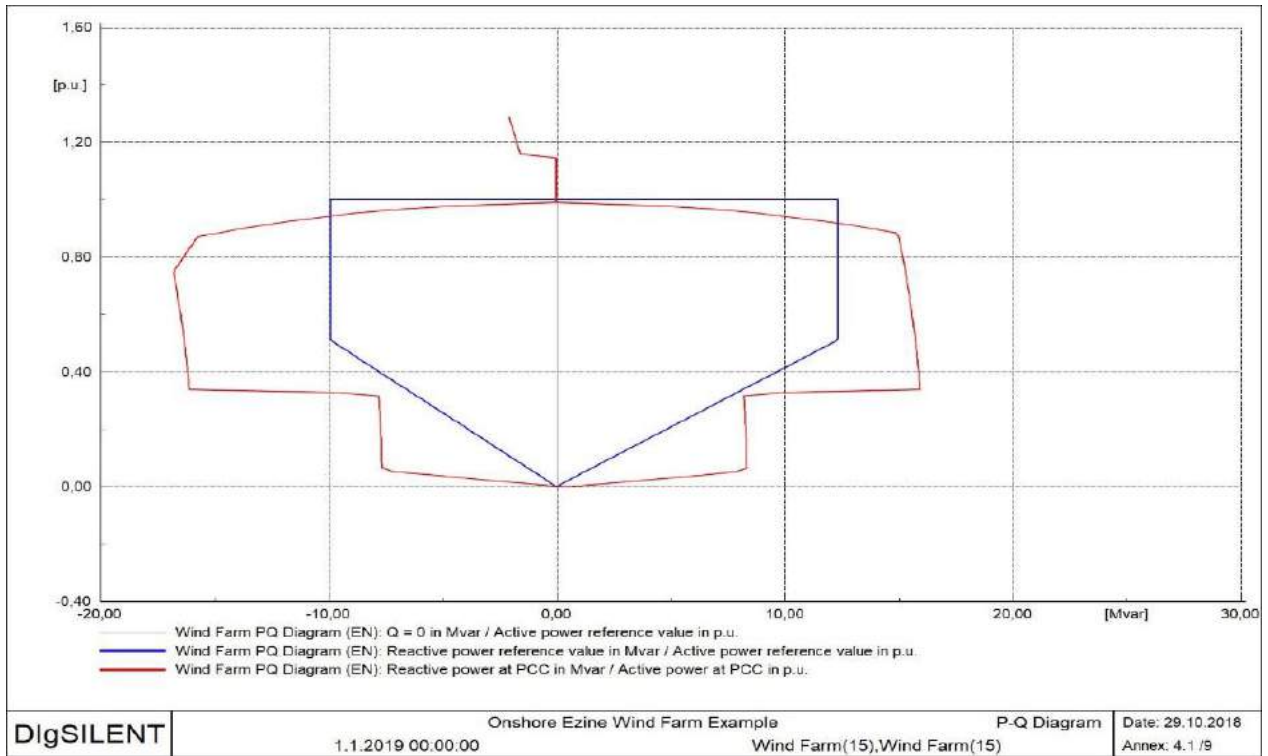
Şekil 13. Denizüstü/Onshore santraline ait baradaki gerilim değeri

3.6. Reaktif Güç Kapasite Analizi

Bu çalışmada, karaüstü rüzgâr santrali parkının 2.5 MW gücündeki rüzgâr tribünlerinin ilgili şebekeye tedarik edeceği reaktif güç oranını gösteren eğri Şekil 14’de görüldüğü gibidir. Bu eğri yardımıyla reaktif güç kapasitesi analizi yapılmıştır (Samancıoğlu, 2016). Reaktif güç kapasite analizleri P-Q ve V-Q diyagramlarının çizdirilerek yorumlanması ile analiz edilir. P-Q diyagramı her bir aktif güç değerine karşılık gelen reaktif güç tedarikini temsil eder. Bu eğri ile kabul edilebilir işletme çalışma alanında, sınır işletim rejim koşullarını gösterir. Sınır işletim değerleri Şekil 14’deki gibi baz alınarak DigSilent yazılımında P-Q eğrisi çizdirilir. Benzetimi yapılan karaüstü rüzgâr tribünlerinin P-Q eğrisi, T.C. Enerji Bakanlığının Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliğinde belirlediği kapasite eğrisinin tamamını kapsayacak şekilde olması istenir (EŞY, 2014). Bu çalışmada şebeke yönetmeliğinde belirtilen sınır değerlerine göre DigSilent yazılımının DPL program geliştirme arayüzünde girilerek çizdirilir (DGT, 2018). Daha sonra karaüstü rüzgâr santralinin P-Q eğrisi, yönetmelik de belirtilen hususlara göre çizilen eğriyi kapsaması istenilir. Şekil 15 incelendiğinde kırmızı ile çizilen karaüstü rüzgâr santrali P-Q eğrisi, mavi ile çizilen yönetmeliğe ait P-Q eğrisini kapsadığı görülmektedir. Sonuç olarak karaüstü rüzgâr santrali gerekli reaktif güç desteğini ilgili şebekeye sağlayacaktır.

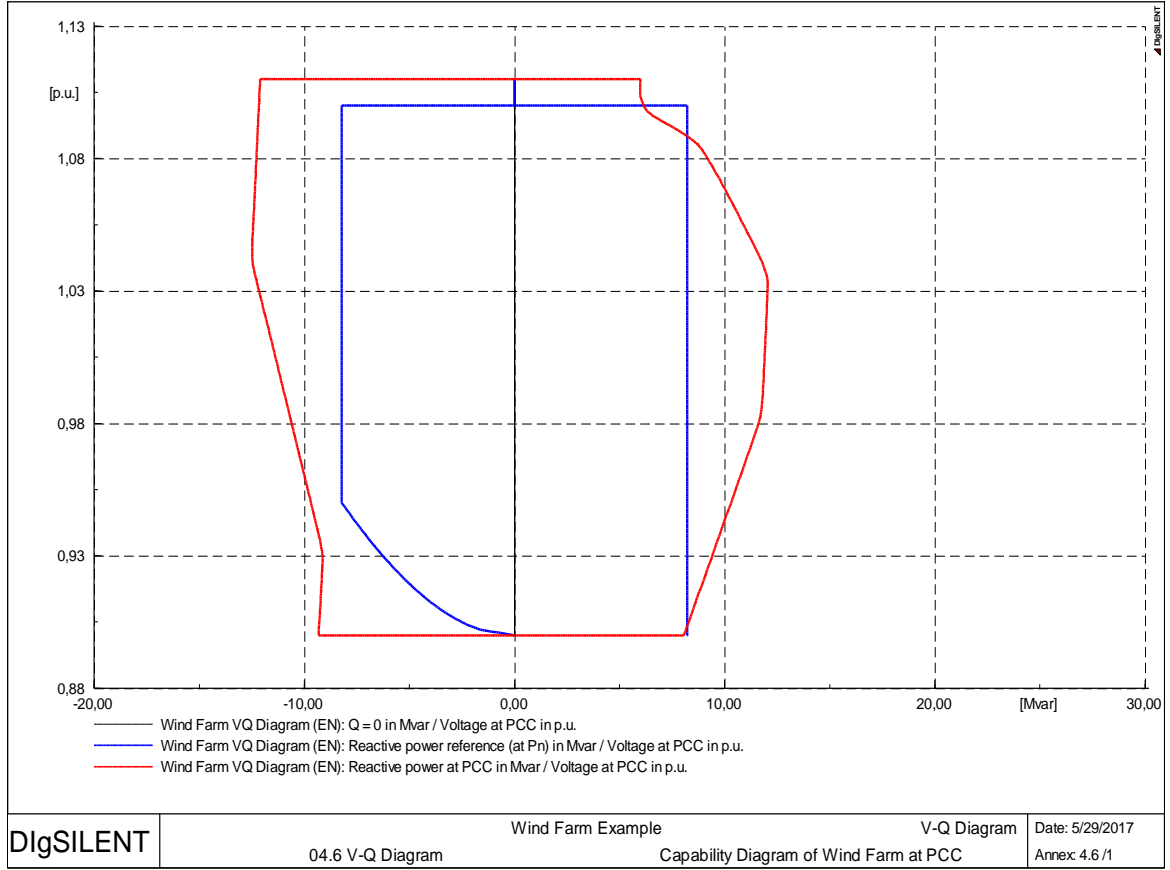


Şekil 14. Onshorerüzgar santralının tribünlerine ait kapasite eğrisi



Şekil 15. Onshore santrale ait P/Q diyagramı

V-Q diyagramı ise sistemin kararlılık durumu hakkında bilgi verebilir. V-Q diyagramı karaüstü rüzgâr santralının reaktif güç tedarik kapasite uygunluğunu gösteren diyagramdır. Şayet bu diyagram ile yönetmelikte belirtilen hususları sağlarsa, güç sisteminin geriliminin değeri istenilen aralıkta tutulabilir (EŞY, 2014). Bu gerilim sınırları çalışmada 0.9 ve 1.1 pu aralığında çizilmiştir. V-Q diyagramı DigSilent yazılımında P-Q diyagramı çizilme aşamasında anlatılan yol ile DPL kodları kullanılarak Şekil 16’da görüldüğü gibi çizdirilmiştir (DGT, 2018). Şekil 16’da kırmızı ile çizilen eğri rüzgâr jeneratörlerinin eğrisidir. Mavi eğri ise sisteme ait V-Q eğrisidir. Kırmızı eğrinin mavi eğriyi kapsaması istenilen durumdur. Bu çalışmada karaüstü rüzgâr santral, şebeke bağlantı noktası gerilimine göre V-Q eğrisini sağladığı görülmüştür.



Şekil 16. Onshorerüzgar ait V/Q diyagramı

4. Sonuç

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan denizüstü/karaüstü rüzgâr santrali tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de ilgi artmaktadır. Kurulumuna 2018 sonunda başlanılacak olan denizüstü rüzgâr santrali ülkemizin ilk ve dünyanın en büyük deniz üstü rüzgâr enerji santrali olma özelliğini taşıması ile ülkemizin 2023 enerji politikasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu yönü ile önemi gittikçe artan denizüstü/karaüstü rüzgâr santrali çalışmalarına örnek olması açısından bu yayında bu konu ele alınmıştır. Denizüstü rüzgâr santrallerinin kurulacağı bölgelerde (deniz aşırı bölgeler) daha kararlı ve yüksek rüzgâr hızlarının bulunması sebebiyle klasik rüzgâr santrallerine göre daha fazla üretim yapma kapasitesine sahiptir. Denizüstü rüzgâr santralının kurulacağı bölgelerde rüzgâr potansiyelinin yüksek oluşu bu santralin karaüstü santraller ile birlikte tasarlanıp kurulmasına olanak sağlar. Denizüstü/karaüstü rüzgâr santralleri anlık değişen rüzgâr hızına göre belli aralık da değişen enerji üretimi yapması nedeniyle ilave edileceği güç sisteminin kalitesi üzerinde çeşitli etkilere sahiptir. Bu etkilerin iyi analiz edilerek istenilen işletme koşullarında kalması için, denizüstü/ karaüstü rüzgâr santrali kurulacak sahanın ön etüt (fizibilite) çalışmaları ile uygun şekilde belirlenip daha sonra santralin ilgili bölge özelliklerine göre modellenip bazı analizlerin yapılması önemlidir. Bu yayında denizüstü/karaüstü rüzgâr santralının kurulacağı bölge için ön etüt çalışması yapılarak ülkemizde uygun saha belirlenmiştir. Daha sonra denizüstü/karaüstü rüzgâr santralının ilgili entegre edileceği 11 baralık 154 kV Marmara iletim sistemi ile modellenmesi yapılmıştır. Ayrıca ilerde ülkemizde HVDC iletim hatlarının yaygınlaşması durumu göz önüne alınarak, denizüstü rüzgâr santralının modellenmesinde VSC-HVDC sistemi ile entegrasyonu, ana dinamik modelleme ve temel kontrol özelliklerinden bahsedilmiştir. Daha sonra bu santralin bölge iletim sistemine entegre edilmesinde yönetmelikle belirlenen koşullara bağlı kalınarak bazı önemli şebeke uyumluluk analizleri yapılmıştır. Şebeke uyumluluk analizleri ile santralin mevcut güç sistemine etkisi görülemeye çalışılmıştır. Denizüstü/onshore santralin yapılan yük akış analizinde ilgili güç sistemi baralarında bara gerilimleri 0.95 pu ve 1.05 pu seviyelerine yakın seviyelerde olması ile optimum bir yük akışı sağlatılmaya çalışılmıştır. Ayrıca santralin uzun vadede devrede olduğu bir süreçte dinamik yük akış analizi yapılarak sistemin gerilim kararlılığına etkisi incelenmiştir. Çalışmada ilgili bölge ile birlikte denizüstü/karaüstü rüzgâr santralının kısa devre analizi yapılmıştır. Bu çalışmada 3 faz kısa devre arızası tüm baralarda hesaplanarak, denizüstü/karaüstü rüzgâr santralının kısa devre akımlarına katkısı yorumlanmıştır. Sonrasında reaktif güç kapasite analizi detaylı bir şekilde yapılarak, karaüstü rüzgâr santralının güç sistemine reaktif katkısı analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ile denizüstü/karaüstü santralının ilgili bölge sistemine uygun entegrasyonu sağlatılmaya çalışılmıştır. Böylece, bu çalışma ilgili bölge için yapılacak diğer çalışmalara yol gösterici olması öngörülmektedir.

Kaynakça

- AKDAĞ, O., OKUMUŞ, F., Kocamaz, A. F., & YEROĞLU, C. (2018). Fractional Order Darwinian PSO with Constraint Threshold for Load Flow Optimization of Energy Transmission System. *Gazi University Journal of Science*, 31(3), 831-844.
- Argin, M., & Yerci, V. (2017). Denizüstü wind power potential of the Black Sea region in Turkey. *International Journal of Green Energy*, 14(10), 811-818.
- Cali, U., Erdogan, N., Kucuksari, S., & Argin, M. (2018). Techno-economic analysis of high potential Denizüstü wind farm locations in Turkey. *Energy strategy reviews*, 22, 325-336.
- Canakkale, (2017). <http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/MALATYA-REPA.pdf> (07.06.2017)
- DGT (2018). Digsilent Technical Documentation. DigsilentPowerFactory Application Guide DPL TutorialDigsilent Technical Documentation. Technical report, DigsilentGmbH, GomaringenGermany.
- Digsilent (2018). HVDC Connected Denizüstü Wind Farm. Technical report, Digsilent, Gomaringen Germany.
- EŞY, (2014). Elektrik Şebeke Yönetmeliği, Resmi Gazete, 28 Mayıs 2014.
- Efe, S., B. (2014). Mikro Şebekelerde Güç Akış Analizi, Doctoral Thesis. Fırat University, Elazığ, Turkey.
- Jerkø, A. (2014). *Reactive Power and Voltage Control of Denizüstü Wind Farms* (Master's thesis, Institutt for elkraftteknikk).
- Karık, F., Sözen, A., & İzgeç, M. M. (2017). Rüzgâr gücü tahminlerinin önemi: Türkiye elektrik piyasasında bir uygulama. *Politeknik Dergisi*, 20(4), 851-861.
- Koroglu, M., O., (2011). Yüksek gerilim alternatif akım ve yüksek gerilim doğru akım şebeke bağlantılı denizüstü (Denizüstü) rüzgâr santrallerinin tasarım esasları, Master Thesis, Ege University, İzmir, Turkey.
- Nanou, S. I., & Papathanassiou, S. A. (2016). Grid code compatibility of VSC-HVDC connected Denizüstü wind turbines employing power synchronization control. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(6), 5042-5050.
- Perez Collazo, C., Astariz, S., Abanades, J., Greaves, D., & Iglesias, G. (2014). Co-located wave and Denizüstü wind farms: A preliminary case study of an hybrid array. In *International conference in coastal engineering (ICCE)*.
- PowerFactory (EN), (2017). User Manual; <http://www.digsilent.de/index.php/downloads.html> (01.05.2017)
- Samancioglu, G., (2014). Rüzgâr havza planlaması ve rüzgâr santrallerinin şebekeye olan etkilerinin dıgsilent programı ile modellenmesi, Master Thesis, Gazi University, Ankara, Turkey.
- Satir, M., Murphy, F., & McDonnell, K. (2018). Feasibility study of an Denizüstü wind farm in the Aegean Sea, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2552-2562.
- Shah, R., Barnes, M., & Preece, R. (2016). Modelling and Dynamic Analysis of a Power System with VSCHVDC Radial Plus Strategy.
- Suwan, M., Jordanien, A., (2017). Modeling and Control of VSC-HVDC Connected Denizüstü WindFarms, DoctoralThesis, Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Duisburg, Germany.
- Van de Sandt, R., Lowen, J., Paetzold, J., & Erlich, I. (2009). Neutral earthing in off-shore wind farm grids. In *2009 IEEE Bucharest PowerTech* (pp. 1-8). IEEE.



Nanopartiküllerin Çevre Mühendisliği Alanında Kullanımı ve Temel Laboratuvar Malzemeleri ile Gümüş Nanopartikül (AgNPs) Sentezi

Ertugrul Esmeray¹, Onur Özata²

¹ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0460-447X)

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 26 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 4 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.570308)

ATIF/REFERENCE: Esmeray, E. & Özata, O. (2019). Nanopartiküllerin Çevre Mühendisliği Alanında Kullanımı ve Temel Laboratuvar Malzemeleri ile Gümüş Nanopartikül (AgNPs) Sentezi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 521-527.

Öz

Günümüzün en önemli teknolojilerinden biri olan nanoteknolojideki gelişmeler her alanda olduğu gibi çevre alanında da kullanım şekillerini arttırmaya başlamıştır. Bu teknoloji düşük maliyetli, çevre dostu alternatif malzeme üretiminde kullanılabilirdiği gibi aynı zamanda hem mevcut kaynaklarımızı korumada ve kirlenmelerin tutulması, arıtımında da kullanılabilir. Bu bağlamda bu çalışma nanopartiküllerin çevre mühendisliğinde kullanım alanları ve temel laboratuvar malzemeleri ile gümüş nanopartikül sentezi hakkında hazırlanmıştır. Çalışmanın sentez bölümünde elde edilen nano gümüş çözeltisi, sodyum borhidür (NaBH_4) kullanılarak gümüş tuzunun (AgNO_3) indirgenmesi ile kimyasal yöntem ile oluşturulmuştur. Oluşturulan ürün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve UV-VIS spektrometre ile karakterize edilmiş ve boyut analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen nanopartikül boyutlarının yaklaşık 70 nm ~ 77 nm arasında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca gümüş nano partiküllerin adsorpsiyon seviyesinin 350 ~450 nm aralığında ve 396,016 nm olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gümüş Nanopartikül, Nanopartikül Sentezi, Çevre Mühendisliği

Use of nanoparticles in Environmental Engineering and synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) with basic laboratory materials

Abstract

As one of the most important technologies of today, nano technological developments have begun to increase the usage patterns in the environment. This technology can be used in the production of low-cost, environmentally friendly alternative materials, as well as in the protection of our existing resources and the Keeping of contaminants. In this study, it has been shown where nanoparticles are used in the field of environmental engineering and how to synthesize and synthesize silver nanoparticle synthesis by chemical methods by using simple equipments in laboratory conditions and how they are shaped and shaped. The nano silver solution was formed by reduction of the silver salt (AgNO_3) using sodium borohydride (NaBH_4). The product was characterized by Scanning Electron Microscope (SEM) and UV-VIS spectrometer and size analysis was performed. It was observed that the nanoparticle size obtained was

¹ Sorumlu Yazar: Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0460-447X
eesmeray@karabuk.edu.tr

approximately 70 nm ~ 77 nm. In addition, the adsorption level of silver nano particles were measured between 350 ~ 450 nm. It was found to be approximately 396,016 nm.

Keywords: Silver Nanoparticle, Nanoparticle Synthesis, Environmental Engineering

1. Giriş

Nanoteknoloji en basit tanımıyla nano boyutta (1-100 nm) teknolojidir [1]. Nanoteknoloji kelimesinin içindeki nano sözcüğü milyarda bir (1×10^{-9} m) anlamına gelmektedir. Nanoteknoloji, nano boyutaki malzemelerin üretimi, tasarımı, karakterizasyonu, montajı ve bu malzemeler kullanılarak üretilen sistemleri inceleyen, araştıran ve geliştiren disiplinler arası faaliyetleri ifade etmektedir. Nanoteknoloji, bilinen molekülleri farklı atom ve moleküller ile işleyerek yapay yapılar (nanotüp, nanotel vb.) tasarlayıp sentezlemektedir. Nanoteknoloji ile daha fonksiyonel, hızlı, az yer kaplayan, az enerji sarfeden, daha mukavemetli, ucuz ve olağanüstü yeni özelliklere sahip maddelerin üretilmesi mümkün hale gelmiştir [2-3].

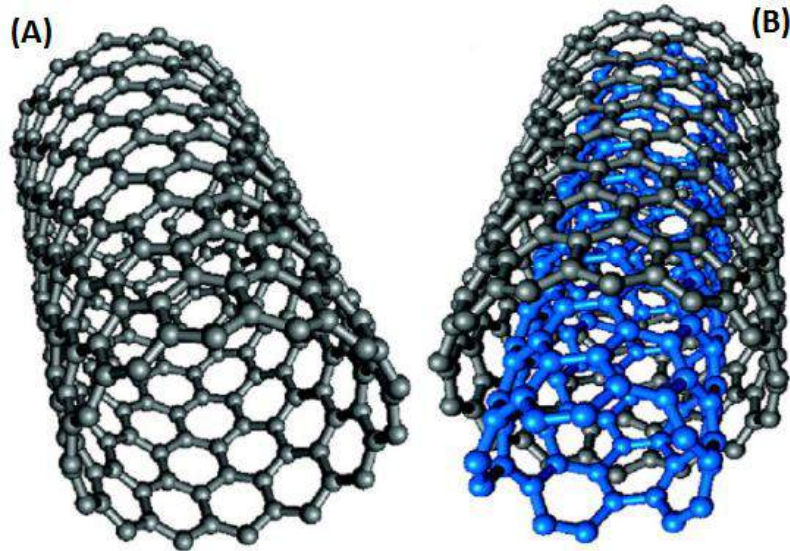
Nanoteknoloji konusuna, 1857 yılında Michael Faraday'ın "Philosophical Transactions of the Royal Society" dergisinde yayınlanan "The Bakerian Lecture: Experimental Relations of Gold (and Other Metals) to Light" adlı makalesinde; boyutları küçülen altının farklı özellikler sergilediğinden bahsederek o yıllarda nano boyutta malzemelerin araştırıldığını göstermektedir. Bu bağlamda Faraday'ı nanoteknolojinin öncüsü olarak tanımlamak uygun olacaktır. 1960'lı yıllarda Richard P. Feynman, nano yapıların benzersiz özelliklerini öne çıkararak bilim insanlarının dikkatini çekmeyi başarmış ve 1980'li yıllarda ardarda gelen Nobel Fizik Ödülleri'ne konu olan çeşitli bilimsel çalışmaları beraberinde getirmiştir [4]. Nanoteknoloji terimi ilk defa Norio Taniguchi (Tokyo Bilim Üniversitesi) tarafından 1974 yılında literatüre girmiştir.

Nanoboyutlu malzemeler; nanopartiküller, nanokristaller, nanoçubuklar, nanoteller, nanotüpler gibi sınıflara ayrılmaktadır.

Nanopartiküller, hacimsel yapıları malzemelerden çok daha farklı ve üstün özelliklere sahip olup, boyutları 100 nm'nin altında ve kimyasal olarak oldukça aktif malzemelerdir [5]. Nano ölçekteki malzemelerin porozlu yüzey alanları çok fazla olduğundan, kirleticileri adsorplama özellikleri de aynı oranda yüksek [6] ve farklı kimyasallar ile etkileşime daha yatkındır [7-8].

Nanoçubuklar, nanoteller ve nanotüpler doğrusal bir yapıya sahip olup farklı üretim teknikleri kullanılarak metal, yarı iletken veya karbon gibi farklı maddelerden üretilebilmektedir. Kullanım alanı en fazla olan karbon nanotüplerin farklı modifikasyonları mevcuttur (Tek cidarlı, çok cidarlı). Karbon nanotüpler günümüzde Çevre Mühendisliğinde sıklıkla kullanılan materyallerden biri haline gelmiştir. Temelde silindirik tüp şekline sahiptir. Karbon nanotüplerin, yüksek aktif yüzey alanı ve simetrik gözenek dağılımı ile geleneksel aktif karbon uygulamalarına göre kirleticileri adsorplama kapasitesi oldukça yüksektir [9].

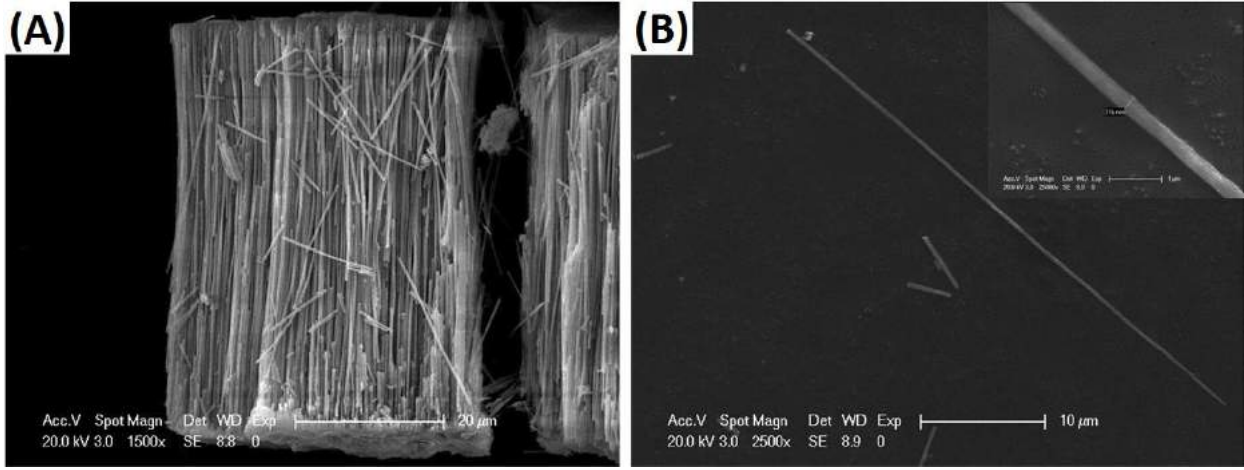
Aşağıdaki şekilde karbon nanotüp örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Tek cidarlı karbon nanotüp (A), çift cidarlı karbon nanotüp (B) [2].

Nanoteller; 1-100 nm çapa sahip ve farklı uzunluklarda iletken, yarı iletken veya yalıtkan tellerdir ve "Kuantum Telleri" olarak da adlandırılmaktadırlar. Altın (Au) ve demir (Fe) iletken nanotellere, silisyum (Si) yarı iletken nanotellere, silisyum dioksit (SiO_2) yalıtkan nanotellere örnek olarak verilebilir. Nanoteller en çok elektronik alanında kullanılmaktadır.

Şekil 2'de $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ nanotel örneği gösterilmiştir.



Şekil 2. $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ nanotel dizinlerinin yandan görünümü (A) ve tek bir $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ nanotelin yandan görünüşü (B) [10].

Nanokristaller; büyüklükleri 1-10 nm arasında değişen yarı iletken türüdür. Boyutlarının küçük olmasından dolayı “Kuantum Noktacığı” olarak da adlandırılmaktadır. Nanokristallerin avantajı, boyutunun küçüklüğünden yararlanılarak özellikleri üzerinde kolayca değişiklik yapılabilmesi ve farklı uygulama alanlarına entegre edilebilmesidir [11].

Nanopartiküllerin Çevre Mühendisliği alanında başlıca toprak ve yeraltı suyu ıslahı, hava kirliliği kontrolü, içme ve atıksu arıtımı (çöp sızıntı suyu arıtımı dahil) gibi çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Çevre Mühendisliğinde yaygın olarak, demir, gümüş, manganez, magnezyum, alüminyum ve titanyum nano malzemeleri içme suyu ve atık su arıtımında kullanılmaktadır [12-13]. Gümüş nanopartiküllerin çoğunlukla içme suyunun arıtılması işleminde dezenfeksiyon amacıyla, demir oksit nanopartiküllerinin ise arsenik ve diğer tehlikeli ağır metal kirleticilerin içme suyundan giderilmesi amacı ile kullanıldığı [14], bunların yanısıra atıksu arıtımı ve renk giderimi konularında çeşitli nanopartiküller ve metotları kullanılmaktadır [15-16].

Toprak ve yeraltı suyu ıslahında, organik (pestisit, petrol ve türevleri) ve inorganik (ağır metaller, azot, fosfor, radyoaktif atıklar) kirleticilerin giderilmesinde en çok sıfır değerlikli demir nanopartikülü kullanılmaktadır. Kirletici giderim yöntemlerinden ilki; hareketli sıfır değerlikli demir nanopartikülleri akiferlere enjekte ederek, demir partiküllerinden bir bulut oluşturmaktır. Bir diğeri ise; akifer kayaçlarına hareketsiz sıfır değerlikli demir nanopartikülleri enjekte ederek demir partiküllerinden bir tabaka oluşturmaktır [17].

Hava kirliliği kontrolü, içinde bulunduğumuz yüzyılda küresel ısınmanın etkilerini artırması ile giderek önemli hale gelmiştir. Özellikle sanayi kuruluşlarından kaynaklı emisyonlar sağlık ve çevre için oldukça tehlikelidir. Bu emisyonlar başlıca; karbon dioksit (CO_2), nitrojen dioksit (NO_2), metan (CH_4), partiküler madde, kül, sülfat ve nitrat içeren bileşiklerdir. Günümüzde nanoteknoloji kullanılarak eski yöntemlerden (torba filtreler, siklon tutucu vb.) daha verimli uygulamalar geliştirilmiştir. Titanyum dioksit (TiO_2) nanopartikülü kullanılarak üretilen statik filtreler, katalitik tutucular ve gözenek çapları nano boyutlarda olan membranlar da hava kirliliğini önlemede uygulanan yöntemlerdendir [17].

Günümüzde nanopartikül uygulamaları, içme suyu ve atıksu arıtımında da kullanılmaktadır. Su arıtımı uygulamasında nano membranlar, karbon nanotüpleri, nano killer ve alumina fiberler gibi nano malzemelerden faydalanılmaktadır [18]. İçme suyu arıtımında, flokülasyon sırasında titanyum dioksit nanopartiküllerinin kullanılması ile Clostridium Perfringens gibi klora karşı dayanıklı patojen mikroorganizmaların giderimi gerçekleştirilmektedir [17]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda çinko oksit (ZnO) nanomateryalinin içme suyu dezenfeksiyonunda kullanılabilirliği öne çıkmaktadır. Özellikle E.Coli üzerinde dezanfektan olarak oldukça etkilidir ancak çinko oksit’in ağır metal olması nedeniyle canlılar üzerindeki etkisinin daha ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerekmektedir [19]. Spinel ferrit nanoparçacıkları ve spinel ferrit nanokompozitlerinin son derece kararlı yapıya sahip olmaları ve kolayca geri kazanılabilirlik özelliği sayesinde düşük maliyetli içme ve atıksu arıtımı gerçekleşmesi mümkün hale gelmiştir [20]. Karbon nanotüpler de içme ve atıksu arıtımında ağır metal adsorpsiyonu için kullanılmaktadır [21]. Titanyum dioksit nanopartikülü ile mikro kirleticiler (siyanotoksinler, antibiyotik vb.) [22], pestisitler ve fenolik kirleticiler [23], boyalar [24], kalıcı organik kirleticilerin (poliklorlu bifeniller vb.) giderilmesinde [25] ve su saflaştırılmasında [26] yaygın olarak kullanılmaktadır [27].

Gümüş nanopartiküller elektriksel, optic, termal ve antibakteriyel özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanına sahiptir. Örneğin su ve atıksu arıtımı, biyomedikal alanında antibakteriyel malzeme üretimi, elektronik malzemelerde iletkenliğin artırılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır [28-29-30]. Bakteriler üzerindeki inhibitör etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [31] ve yüksek iletkenliğe sahip olduğundan biyosensörlerde elektron transferini hızlandırarak biyosensörlerin hassasiyetini arttırdığı gözlemlenmiştir. [32-33]. Gümüş nanopartikül üretimini etkileyen değişkenler USP yöntemiyle incelenmiş ve bunun sonucunda çözelti konsantrasyonu ve atomizörün gücünün partikül boyutu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu [34], gümüş nitrat çözeltisinden gümüş nanopartikül üretiminde sıcaklık parametrisinin partikül boyut ve morfolojisine etkileri incelenmiş olup sıcaklık arttıkça daha küresel ve yoğun partiküllerin elde edildiği sonucuna varılmıştır [35].

Bu çalışmada temel laboratuvar malzemeleri kullanarak sodium borohidrit (NaBH_4) ile gümüş nitratın (AgNO_3) indirgenmesiyle nano boyutta gümüşlerin üretilmesi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

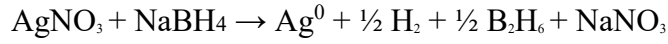
Çalışmanın temel hedeflerinden olan temel laboratuvar malzemeleri ile AgNPs sentezi için kullanılan kimyasallara ve metoda bu bölüme yer verilmiştir. Çalışmada kullanılan kimyasallar; Ekstra saf Gümüş Nitrat (AgNO_3 , Nanografi, Türkiye), Sodyum Borohidrit (NaBH_4 , Nanografi, Türkiye). Kullanılan laboratuvar ekipmanları; buz banyosu, ısıtıcı manyetik karıştırıcı şeklindedir. Çalışmadaki tüm çözeltiler taze olarak hazırlanmıştır. Çözelti hazırlanma aşamalarında ve cam malzemelerin temizlenmesinde ultra saf su kullanılmıştır.

2.2. Gümüş Nanopartikül Sentezi

Gümüş nanopartiküllerin sentezlenmesi için ;100 ml 0.005 M Gümüş Nitrat ve iyonik gümüşü indirgemek için yüksek miktarlarda gerekeceğinden 250 ml 0.01 M Sodyumborhidrit çözeltileri kullanılmıştır. Çözeltilerin hazırlanması esnasında, sodyum borohidrit'in uçucu özelliğinin sıcaklıkla doğru orantılı olması nedeniyle sadece gözle görülür partikül kalmayncaya kadar 50 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır.

Çözeltiler hazırlandıktan sonra buz banyosu içinde bulunan NaBH_4 çözeltisi üzerine hazırlanan AgNO_3 çözeltisi damla damla (yaklaşık saniyede 1 damla) ilave edilmiştir. Çalışma esnasında çözeltinin rengine sarıya doğru bir dönüş gözlemlenmiş ve AgNO_3 tamamen ilave edildikten sonra bu renk fosfor sarısı renge dönüşmüştür ve bu dönüşüm gözlemlendiğinde karıştırma durdurulmuştur. Aksi durumda bu çözelti rengi zamanla mor-siyah benzeri bir renge dönüşmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar esnasında meydana gelen kimyasal reaksiyon aşağıda verilmiştir.

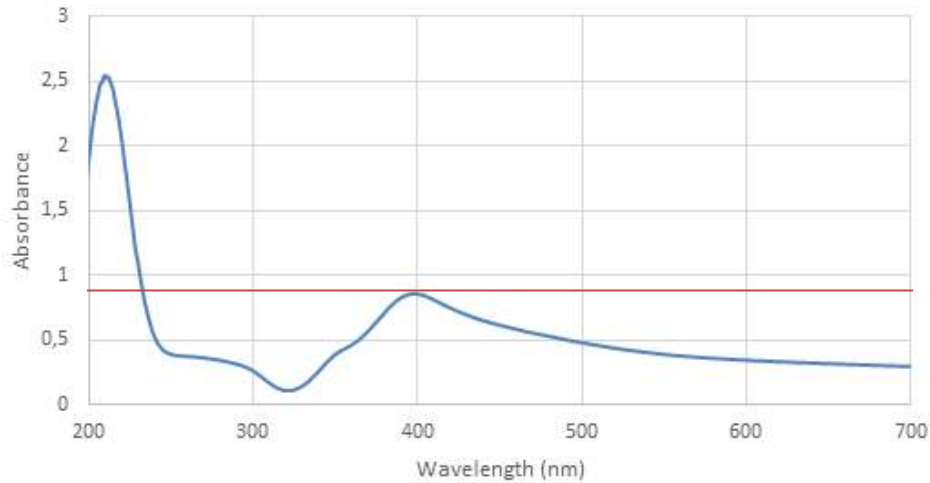


3. Araştırma Sonuçları

Çalışmada sonucunda sentezlenen nanopartiküllerin karakterizasyonu

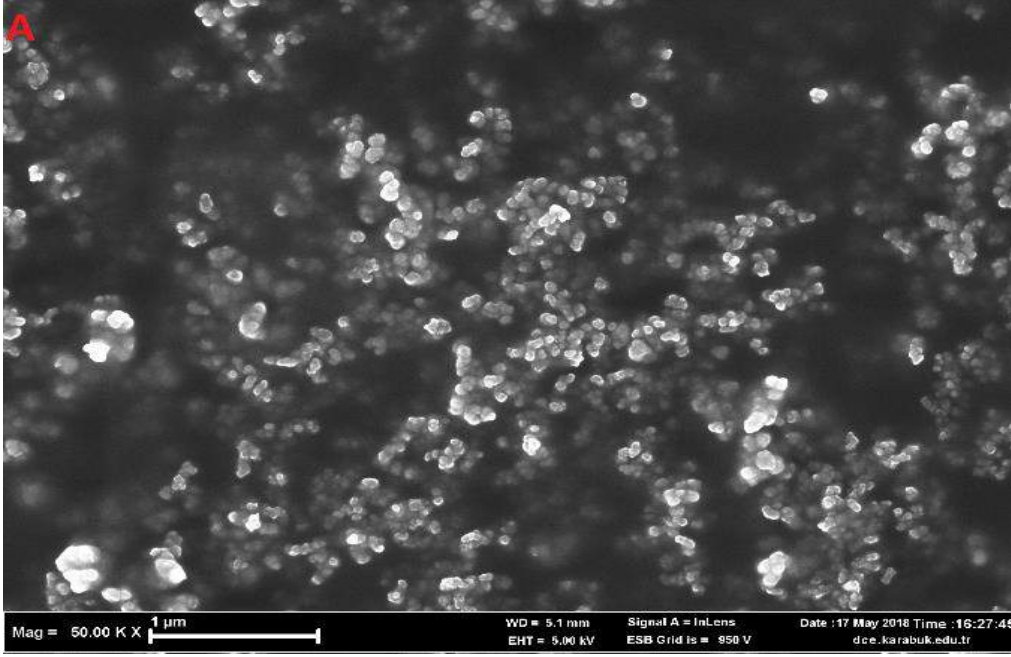
Sentezlenen gümüş nanopartiküller, UV-Visible spektrometre ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak karakterize edilmiştir. Gümüş nanopartikülün UV-Visible spektrometre absorpsiyon seviyesi 350 – 450 nm arasındadır.

Bu çalışmada absorpsiyon 396,016 nm'de gerçekleşmiş olup Grafik 1'de gösterilmiştir.

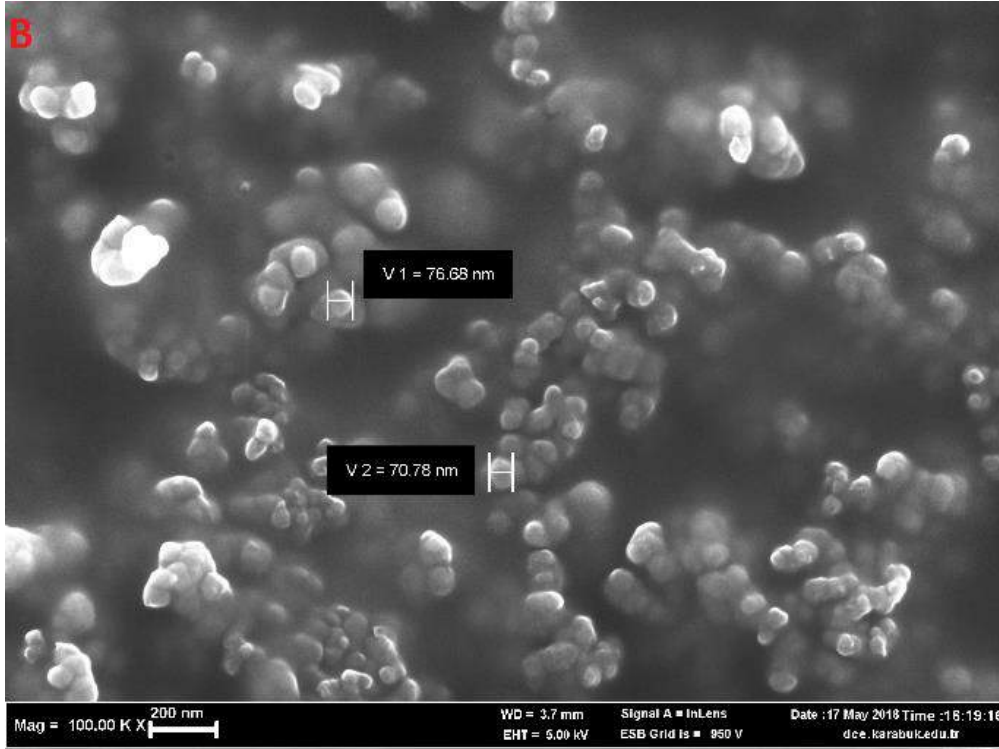


Grafik 1. Gümüş nanopartiküllerin absorpsiyon spektrometresi.

Sentezlenen yoğun gümüş nanokolloidler ve bunları oluşturan nanopartiküllerin dağılımı Şekil 3'de ve tespit edilen nanopartiküller için ortalama boyutlar da Şekil 4'de gösterilmiştir.

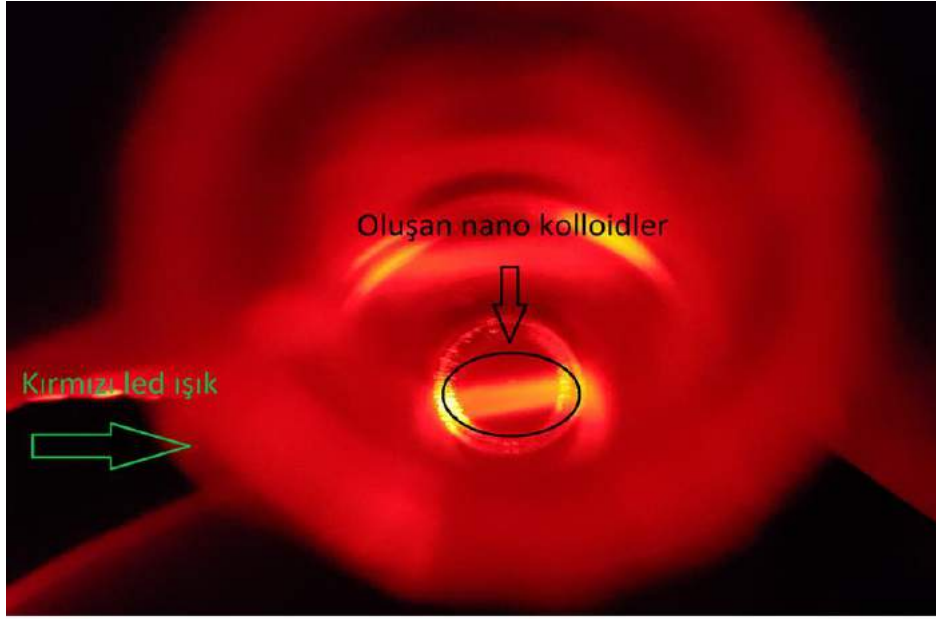


Şekil 3. Gümüş nanopartiküllerin dağılımı (A)



Şekil 4. Elde edilen gümüş nanopartiküllerin ortalama boyutları (çap-nm) (B).

Elde edilen gümüş nanopatiküller, doğrulama amacıyla basit bir analiz şekli olan sodyum klorür ilavesi ile de incelenerek teyit edilmiştir. Bu analiz yönteminde, üretilen gümüş nanopatikülden bir miktarı numune tüpüne alınmış ve içerisine 5 gr sodyum klorür ilave edilmiştir. Tüp biraz karıştırıldıktan sonra kırmızı lazer ışığı kullanılarak tüpün içindeki kolloid oluşumu gözlemlenmiştir. Elde edilen görüntü Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Gümüş nanopartiküllerin varlığının NaCl ilavesi ile tespiti.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Yapılan çalışmada nano partiküllerin çevresel kullanım alanlarına değinilmiş ve bu nano partiküllerden biri olan gümüş nanopartiküllerin temel laboratuvar malzemeleri kullanılarak kimyasal olarak sentezlenebilirliği incelenmiştir. Nano partiküllerin karakterizasyonu SEM ve UV-VIS spectrometer ile yapılarak sonuçlar bölümünde gösterilen değerler ve görüntüler elde edilmiştir. Burdan yola çıkarak kimyasal nanopartikül sentez çalışmalarının daha yüksek laboratuvar imkanları ile daha küçük boyutlarda nanopartiküller üretebilecek şekilde geliştirilebileceği anlaşılmıştır. Nanopartiküllerin yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte olası dezavantajları, olumsuz etkileri de birçok bilimsel çalışmada ele alınmaya başlanmıştır [36-37]. Bu çalışmalarda genel olarak nanopartiküllerin toksisitelerinden bahsedilmiş, ve bu toksisiteye nanopartiküllerin yapısı, kaplamaları ve boyutları etkili olduğuna değinilmiştir. Ayrıca yine yapılan çalışmalar ışığında nanopartiküllerin çözünürlükleri düşükse kanserojen etki gösterebilme ihtimalleride söz konusudur. Bu etkiye neden olan, nanopartiküller biyolojik ve kimyasal aktiviteyi arttıran çok büyük yüzey alanı ve hacim oranına sahip olmalarıdır. Neticede nanopartiküller ile ilgili çalışmalar genişletilerek, çevresel ve sağlık açısından tüm yönleriyle incelenmeli, nanopartikül kullanımının avantaj ve dezavantajları net olarak ortaya çıkarılmalıdır.

Kaynakça

- [1] Ateş H. 2015. "Nano parçacıklar ve nano teller", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part:C, Tasarım Ve Teknoloji, GU J Sci Part:C 3(1), 437-442.
- [2] National Nanotechnology Initiative: The Initiative and its Implementation Plan, pp. 19-20. Washington, D.C., National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and technology 2000.
- [3] Rao C.N. R., Müller A., Cheetham A. K. "The Chemistry of Nanomaterials" V. 1, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim 2005.
- [4] Süzer, Ş. 2005. "Metrenin bir milyarda birinde bilim ve teknoloji", Bilim ve Teknik Yeni Ufuklara, TÜBİTAK, s6-8.
- [5] Köroğlu M. 2002. "Ultrasonik sprey proliz ve hidrojen redüksiyonu yöntemi ile (USP-HR) nano yapıli gümüş-bakır alaşım partiküllerinin üretimi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü.
- [6] Hristovski K., Baumgardner A., Westerhoff P. 2007. "Selecting metal oxide nanomaterials for arsenic removal in fixed bed columns: from nanopowders to aggregated nanoparticle media", J. Hazard. Mater., 147 (2007), 265-274.
- [7] Khaleel A., Kapoor P.N., Klabunde K.J. 1999. "Nanocrystalline metal oxides as new adsorbents for air purification", Nanostruct. Mater., 11 (1999), 459-468.
- [8] Li X.-Q., Elliott D.W., Zhang W-X. 1994. "Zero-valent iron nanoparticles for abatement of environmental pollutants: materials and engineering aspects", Crit. Rev. Solid State Mater. Sci., 31 (2006), 111-122.
- [9] Santhosh C., Velmurugan V., Jacob G., Jeong S.K., Grace A.N., Bhatnagar A. 2016. "Role of nanomaterials in water treatment applications: A review", Chemical Engineering Journal, 306 (2016), 1116-1137.
- [10] Hu Y., Gu M., Liu X., Zhang J., Huang S., Liu B. 2019. "Fabrication and performance of Lu₂O₃:Eu³⁺ nanowire arrays with different nanowire diameters", Optical Materials, 88, 91-96.

- [11] Erdoğan A. 2013. "Alaşım kompozisyonuna bağlı olarak nanokristal malzemelerin elektrokimyasal ve optiksel özellikleri", Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12] Van Benschoten J.E., Reed B.E., Matsumoto M.R., McGarvey P.J. 1994. "Metal removal by soil washing for an iron oxide coated sandy soil", *Water Environ. Res.*, 66 (1994), 168-174.
- [13] Agrawal A., Sahu K.K. 2006. "Kinetic and isotherm studies of cadmium adsorption on manganese nodule residue", *J. Hazard. Mater.*, 137 (2006), 915-924.
- [14] Prathna T.C., Sharma S.K., Kennedy M. 2018. "Nanoparticles in household level water treatment: An overview", *Separation and Purification Technology*, 199 (2018), 260-270.
- [15] Wang H., Huang X., Li W., Gao J., Xue H., Li R.K.Y., Mai Y-W. 2018. "TiO₂ nanoparticle decorated carbon nanofibers for removal of organic dyes", *Colloids and Surfaces A*, 549 (2018), 205-211.
- [16] Hosseini S.A., Vossoughi M., Mahmoodi N.M., Sadzadeh M. 2018. "Efficient dye removal from aqueous solution by high performance electrospun nanofibrous membranes through incorporation of SiO₂ nanoparticles", *Journal of Cleaner Production*, 183 (2018), 1197-1206.
- [17] Çalhan R. 2012. "Tekstil nanopartiküllerinin biyolojik arıtma sisteminde davranışı ve etkileri", Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] Yakar Z. 2018. "Nanoteknolojinin Gelişimi", *Nanoteknoloji* 1, 1, 31-46.
- [19] Erkurt F.E., Balcı B., Turan E.S. 2018. "İçme sularının dezenfeksiyonunda çinko oksit nanomateryalinin kullanımı", 4.Uluslararası Biyosidal Kongresi.
- [20] Kefeni K.K., Mamba B.B., Msagati T.A.M. 2017. "Application of spinel ferrite nanoparticles in water and wastewater treatment: A review", *Separation and Purification Technology*, 188, 399-422.
- [21] Hirlekar, R., Yamagar M., Garse H., Vij M. 2009. "Carbon nanotubes and its applications: A review", *Asian J. Pharm. Clin. Res.* 2 (4), 17-27.
- [22] Fagan R., McCormack D.E., Dionysiou D.D., Pillai S.C., 2016. "A review of solar and visible light active TiO₂ photocatalysis for treating bacteria, cyanotoxins and contaminants of emerging concern", *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 42, 2-14.
- [23] Ahmed S., Rasul M., Brown R., Hashib M., 2011. "Influence of parameters on the heterogeneous photocatalytic degradation of pesticides and phenolic contaminants in wastewater: A short review", *J. Environ. Manag.*, 92 (3), 311-330.
- [24] Comparelli R., Fanizza E., Curri M., Cozzoli P., Mascio G., Passino R., Agostiano A., 2005. "Photocatalytic degradation of azo dyes by organic-capped anatase TiO₂ nanocrystals immobilized onto substrates", *Appl. Catal. B Environ.*, 55 (2), 81-91.
- [25] Arabatzis I., Antonaraki S., Stergiopoulos T., Hiskia A., Papaconstantinou E., Bernard M., Falaras P., 2002. "Preparation, characterization and photocatalytic activity of nanocrystalline thin film TiO₂ catalysts towards 3, 5-dichlorophenol degradation", *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 149 (1), 237-245.
- [26] Gelover S., Mondragón P., Jiménez A., 2004. "Titanium dioxide sol-gel deposited over glass and its application as a photocatalyst for water decontamination", *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 165 (1), 241-246.
- [27] Zhang Y., Wu B., Xu H., Liu H., Wang M., He Y., Pan B. 2016. "Nanomaterials-enabled water and wastewater treatment", *Nanoimpact*, 3-4 (2016), 22-39.
- [28] Wu J., Zhang G., Liu J., Gao H., Song C., Du H., Zhang L., Gong Z., Lü Y. 2014. "Synthesis, characteristics, and antibacterial activity of a rare-earth samarium/silver/titanium dioxide inorganic nanomaterials", *Journal of Rare Earths*, Vol. 32, 8, 727-732.
- [29] Guan Q., Xia C., Lia W. 2019. "Bio-friendly controllable synthesis of silver nanoparticles and their enhanced antibacterial property", *Catalysis Today*, 327 (2019), 196-202.
- [30] Rashid M. U., Bhuiyan Md. K. H., Quayum M.E. 2013. "Synthesis of Silver Nano Particles (Ag-NPs) and their uses for Quantitative Analysis of Vitamin C Tablets", *Dhaka Univ. J. Pharm. Sci.* 12(1), 29-33.
- [31] Kawashita M., Tsuneyama S., Miyaji F., Kokubo T., Kozuka H., Yamamoto K. 2000. "Antibacterial silver - containing silica glass prepared by sol-gel method", *Biomaterials*, 21, 393-398.
- [32] Vijayaraghavan R., Islam S.K., Zhang M., Ripp S., Caylor S., Bull N.D., Moser S., Terry S.C., Blalock B.J., Saylor G.S. 2007. "A bioreporter bioluminescent integrated circuit for very low-level chemical sensing in both gas and liquid environments", *Sensors and Actuators B: Chemical*, 123, 2 (2007), 922-928.
- [33] Ren X., Meng X., Chen D., Tang F., Jiao J. 2005. "Using silver nanoparticle to enhance current response of biosensor", *Biosensors and Bioelectronics*, 21, 3 (2005), 433-437.
- [34] Pingali K.C., Rockstraw F.A., Deng S. 2005. "Silver Nanoparticles from ultrasonic spray pyrolysis of aqueous silver nitrate", *Aerosol Science and Technology*, 39, 1010-1014.
- [35] Stopic S., Dvorak P., Friedrich B. 2006. "Synthesis of spherical nanosized silver powder by ultrasonic spray pyrolysis", *Metall Forschung*, 299-304.
- [36] Teow, Yiwei, et al. "Health impact and safety of engineered nanomaterials." *Chemical communications* 47.25 (2011): 7025-7038.
- [37] Baranowska-Wójcik, E., Sz wajgier, D., Oleszczuk, P. Effects of Titanium Dioxide Nanoparticles Exposure on Human Health—A Review, *Biol Trace Elem Res* (2019). <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01706-6>



Kütahya (Çavdarhisar) Yöresinde Yetiştirilen Tıbbi Adaçayı (*Salvia officinalis* L.) Türünün Çiçeklerindeki Uçucu Yağ Bileşenlerinin Değerlendirilmesi

Hasan Basri Karayel^{1*}

¹ Dumlupınar Üniversitesi Gediz Meslek Yüksekokulu Tıbbi ve Aromatik Bitkiler, Kütahya, ORCID: 0000-0002-4271-0540

(İlk Geliş Tarihi 7 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 7 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.536961)

ATIF/REFERENCE: Karayel H. B. (2019). Kütahya (Çavdarhisar) Yöresinde Yetiştirilen Tıbbi Adaçayı (*Salvia officinalis* L.) Türünün Çiçeklerindeki Uçucu Yağ Bileşenlerinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 528-532.

Öz

Bu çalışma Kütahya (Çavdarhisar) yöresinde yetiştirilen *Salvia officinalis* L. türünün uçucu yağ bileşenlerini, uçucu yağ oranını ve kalitesini belirlemek amacıyla, 2016-2017 yıllarında yürütülmüştür. Tarla denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Fideler 50 cm sıra arası ve 40 cm sıra üzeri mesafede dikilmiştir. Uçucu yağ analizi *salvia officinalis* L. türünün çiçeklerinden su distilasyonu ile elde edilmiştir. Uçucu yağın bileşenleri GS_MS (FID) yoluyla belirlenmiştir. Uçucu yağ oranı, çiçekte ikinci yıl yapılan iki hasatta sırasıyla %1,32 - %2,33 olarak ölçülmüştür. Tıbbi adaçayının (*Salvia officinalis* L.) hasat tarihlerine göre uçucu yağ bileşenlerinde değişim olduğu gözlemlenmiştir. Birinci hasat yaz ayında yapılmıştır ve bu biçimde uçucu yağların ana bileşenleri α -thujone %26,56, 1,8-Cineole %14,01, Viridiflorol %14,67; ikinci biçim ise sonbaharda yapılmış ve ana bileşen olarak, α -thujone %39,51, Camphor %20,22, 1,8-Cineole %10,27 bulunmuştur. Eğer elde edilmek istenen madde α -thujone (%39,51) ise, hasat sonbaharda yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Uçucu yağ, *Salvia officinalis* L., Tıbbi Adaçay

Evaluation Of Essential Oil Components in the Flowers Of Medicinal Sage (*Salvia officinalis* L.) Species Grown in Kütahya (Çavdarhisar) Region

Abstract

This study was carried out in a farmer's field in 2016-2017 in order to determine the essential oil content and quality of the essential oil components of *Salvia officinalis* L. grown in Kütahya (Çavdarhisar) region. The field experiments were carried as 3 replicates according to randomized block design. The seedlings were planted by a horizontal distance of 50 cm and vertical distance of 40 cm. The essential oil analysis was performed on the flowers of *Salvia officinalis* L. by water distillation. The components of the volatile oil were determined by hydrodistillation method (GC MS/FID). The plants were harvested twice in the second year and the percentages of essential oil acquired from the flowers were 1.32% and 2.33% respectively. There has been a change in the volatile oil component rates according to the harvest dates of medicinal sage (*Salvia officinalis* L.). The first harvest was made in the summer and the main components of the essential oils were α -thujone 26,56%, 1,8-Cineole 14,01%, Viridiflorol 14,67% whereas the second harvest was made in autumn and the main components were found as follows; α -thujone 39,51%, Camphor% 20,22, 1,8-Cineole 10,27%. If the wanted substance is α -thujone (39.51%), the harvest should be done in autumn.

* Sorumlu Yazar: Dumlupınar Üniversitesi Gediz Meslek Yüksekokulu Tıbbi Ve Aromatik Bitkiler, Kütahya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4271-0540, kbagri23@hotmail.com

Keywords: Essential oil, *Salvia officinalis* L., Medical Sage

1. Giriş

Lamiaceae familyasını temsil eden bitkiler, Türkiye de Akdeniz bölgesinde dağlık bölgelerde bulunmaktadır (Baydar ve ark., 2004). Ülkemiz tıbbi bitkiler açısından dünyanın en zengin florasına sahip ülkelerden biri olmasının yanı sıra köklü bir kültüre de sahiptir. Bitkisel ilaçların daha etkili, daha toksik ve daha pahalı olan sentetik ilaçlarla birlikte kullanımlarında tamamlayıcı rol oynamalarına olanak sağlamakta, tek başlarına ise alternatif terapi aracı olarak diğer sistemlerin enfeksiyonlarında iyileştirici amaçlı olarak kullanımlarını gündeme getirmektedir. Bu yönüyle antibakterial aktiviteye sahip bitkilerin bakteri orijinli insan, hayvan ve bitki hastalıklarının kontrolünde etkili olabileceği bildirilmiştir (Başer ve ark., 1993). 10. yüzyılda orta doğuda hekimler adaçayının yeryüzünde meydana gelen ölümlere karşı bir kurtuluş olacağına inanmışlardır. Bir çok hastalığın tedavisinde mesela enfeksiyon hastalıklarında, epilepside, zehirlenmede, bağırsak problemlerine halk arasında adaçayı ile çözüm aranmaktadır. Günümüzdeki tıbbi kullanımına baktığımızda ise çay formunda tıbbi amaçlı olarak kullanıldığını görüyoruz (Onlooker, 1995). *Salvia*, bitki çayı içinde sıkça yer alan bir bitki olup, terlemeyi önleyici olarak, bronşitin tedavisi, ateş, romatizma, sinirsel rahatsızlıklara karşı tavsiyede bulunulurdu (Kamatoua ve ark., 2005). Lamiaceae (Labiatae) familyası Tıbbi ve Aromatik bitki bakımından en zengin familyalardan biri olup, bu familyaya ait bitkilerin çoğu antik çağlardan bu yana halk ilacı olarak çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmıştır (Bayram, 2001). Biyolojik aktif bileşenlerini belirlemek için birçok sayıda farmakolojik çalışmalar yapılmıştır. İncelenen türler biyolojik aktivite olarak antimikrobial, antioksidant, antiviral, antitümör, antihidrotik aktivite içermekte olduğu tespit edilmiştir (Parekh ve ark., 2005; Digrak ve ark., 1999). Tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.), uçucu yağ içeren, tipik bir Akdeniz bitkisidir. Adaçayı 60-100 cm. aralığında boylanır, yarı çalimsı ve saçak köklere sahiptir. Yapraklar beyazımsı griden gümüş rengine kadar değişen renkte ve tüylüdür (Ceylan, 1996). Adaçayı yaprakları %0,5-2,5 oranında uçucu yağ taşımaktadır. Kodekslerde uçucu yağ oranının en az %1,5 olması istenmektedir (Ceylan 1996). Uçucu yağında thujon oranı %30-50, cineol oranı %15, borneol oranı %10 olarak belirtilmektedir (Baytop, 1999). *Salvia officinalis* L.'de etkili madde miktarının, bitkinin gelişme evresinden daha çok, bitkinin kısımlarına bağlı olduğunu belirtmiştir (Zutic ve ark., 2003). Bu araştırma, iç Ege bölgesinde yetiştirdiğimiz *Salvia* L. türünün uçucu yağ kompozisyonunun karşılaştırılması ve uçucu yağların değerlendirilmesine yönelik bir çalışmadır. Ayrıca bu çalışmayla; *Salvia officinalis* L. türünün uçucu yağlarını biçim tarihlerine göre karşılaştırmak, bölgeye uygun bitki kısımlarının uçucu yağ oranı ve uçucu yağ bileşenlerin belirlenmesini tespit etmek. Bölge halkı için ürün çeşitliliğini artırmak, ilaç ve gıda sektörüne katkı sağlamak amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitki Materyali

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan tohum Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde temin edilmiştir. Araştırma 2016-2017 yıllarında Kütahya-Çavdarhisar ilçesinde bir üreticinin tarlasında yürütülmüştür. Deneme alanında 180 bitkiye ihtiyaç duyulduğu için sera koşulları ve tarlaya şaşırtıldıktan sonraki başarısızlıklar göz önüne alınarak 216 bitki deneme alanına şaşırtılmıştır. Köklenen fideler Nisan 2016 tarihinden itibaren tarlaya şaşırtılmaya başlanılmıştır. Fidler tarlaya şaşırtıldıktan hemen sonra can suyu verilmiştir. Tarla denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüş. Denemede dikim aralığı 50x40 cm olup her parselde 3 sıra yer almıştır. Parsel büyüklüğü 1,75x5,00=8,75 m² dir. Her sıraya 24 bitki her parselde 72 bitki bulunacak şekilde dikim yapılmıştır. Bitkiler ilk iki hafta her gün hortumla sulanmış. Tutmayan bitkilerin yerine yenileri şaşırtılarak her parselde en az 60 bitki olması sağlanmıştır. İkinci haftadan sonra haftada bir sulama yapılmıştır. Gözlemler ve ölçümler her parselde sağlıklı 60 bitki içerisinde etiketlenen 9 adet bitkilerden elde edilen çiçek örneklerinde yapılmıştır. İlk yıl tek, ikinci yıl iki biçim yapılmış ve biçim zamanı olarak uçucu yağ oranının en yüksek olduğu çiçeklenme başlangıcı tercih edilmiştir.

2.1.2. Uçucu Yağ İzolasyonu

Deneme uçucu yağ analizinin başlangıcında 20 g kuru çiçek tartılarak 500 ml'lik balona alınmıştır. Üzerine 200 ml (örnek miktarna göre değişebilir, yaklaşık 10 kat) saf su eklenip çalkalanmıştır. İki saat süreyle hidrodestilasyon işlemine tabi tutularak uçucu yağ elde edilmiştir. Sistem soğuduktan sonra ve dereceli kısma toplanan uçucu yağ sulu fazdan ayrıldıktan sonra miktarı (ml) tespit edilmiştir. Tartımı alınan örnek miktarına (g) göre 100 g örnekteki uçucu yağ miktarı uçucu yağ oranı (%) olarak hesaplanmıştır (Tabanca ve ark., 2006).

2.1.3. Uçucu Yağ Kompozisyonunun GC-MS ile Belirlenmesi

Bileşen analizleri Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Araştırma Laboratuvarından yapılmıştır. Örnekler 1:100 oranında hekzan ile seyreltilip Gaz kromatografisi (Agilent 7890A) cihazına 1 µl olarak 40:1 split oranı ile enjekte edilmiştir. Bileşenlerin ayrımı için kapiler kolon (HP InnowaxCapillary; 60.0 m x 0.25 mm x 0.25 µm) kullanılmıştır. Kolon, bitiminde bir ayraç (splitter)

yardımıyla FID ve kütle spektrometresi dedektörüne (Agilent 5975C) akış 1:1 oranında olacak şekilde ikiye ayrılmıştır. Analizde taşıyıcı gaz olarak 0.8 ml/dk akış hızında helyum kullanılmıştır. Enjektör sıcaklığı 250°C'de tutulmuş, kolon sıcaklık programı - 60°C'de 10 dakika, 60°C'den 220°C'ye 4°C/dakika (40 dakika) ve 220°C'de 10 dakika - toplamda 60 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Kütle dedektörü için tarama aralığı (m/z) 35-450 atomik kütle ünitesi ve elektron bombardımanı iyonizasyon enerjisi 70 eV'dir. Uçucu yağın bileşenlerinin teşhisinde OIL ADAMS, WILEY ve NIST kütüphanelerinin verileri esas alınmıştır. Uçucu yağ bileşen oranlarında ise FID dedektörünün verileri kullanılmıştır. (Özek ve ark., 2010)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu araştırmada incelenen *Salvia* türünün uçucu yağ oranı (%1,32-2,33) ve kompozisyonunun bitkinin biçim sayısına göre değişim göstermiştir.

3.1. Uçucu Yağ İçeriği (%)

Uçucu yağ oranı konusunda yapılan çalışmalarda; Rio de Janeiro Eyaleti'nden Petrópolis'teki taze adaçayı yaprağın (*Salvia officinalis* L.) 'dan elde edilen uçucu yağ oranı %2,3 bulunmuştur (Porte ve ark., 2013). Bulgaristan'da toplanan *Salvia officinalis* L. bitkisinin uçucu yağ oranı %0,93 olarak tespit edilmiştir (Damyanova ve ark., 2016). Uçucu yağ oranı drog çiçekte %0,50-0,58 arasında bulunmuştur (Yılmaz,1988). Adana ve Pozanti'da yürüttüğü çalışmada *S. officinalis* L.' in uçucu yağ oranı yaprakta %1,00-2,23, çiçekte %0,73-2,11 arasında bulunmuştur (Yenikalaycı,1998). Uçucu yağ oranı ikinci yıl iki biçimde sırasıyla %1,32-2,33 olarak ölçülmüş farklı yerlerde aynı bitki ile yapılan diğer çalışmalarda elde edilen değerlerle benzer bulunmuştur.

3.2. Uçucu Yağın Bileşimi (%)

Salvia officinalis L. toprak üstü organlarından elde edilen uçucu yağın analizinde çiçekte ikinci yıl birinci biçimde 20, ikinci biçimde 9 bileşen tanımlanmıştır. Bu bileşenler toplam yağın çiçekte birinci biçimde %100, ikinci biçimde %100 kısmını oluşturmuştur. *Salvia officinalis* L. türüne ait çiçeklerde elde edilen uçucu yağ oranı bileşenlerin değerleri birinci biçimde ve ikinci biçimde elde edilen örneklerle belirlenmiştir. *Salvia officinalis* L. türünün uçucu yağ bileşenlerin değerleri ayrı ayrı olacak şekilde Tablo 3.2.1'de gösterilmiştir. *Salvia officinalis* L. türünün çiçeklerinde birinci biçim yaz ayında (05.07.2017) yapılmış uçucu yağın ana bileşenleri, α -thujone %26,56, 1,8-Cineole %14,01, Viridiflorol %14,67, ikinci biçim sonbaharda (03.10.2017) yapılmış ana bileşen olarak, α -thujone %39,51, Camphor %20,22, 1,8-Cineole %10,27 olarak elde edilmiştir. Çiçekte ana bileşen olarak α -thujen, 1,8-cineole, viridiflorol, Camphor olarak bulunmuştur. *Salvia officinalis* L. türünün bitki kısımlarına göre uçucu yağ bileşenleri belli ölçüde değişiklik göstermektedir. *Salvia officinalis* L. türünde ana bileşeni çiçekte α -thujen olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 3.2.1. *Salvia officinalis* L. türünün uçucu yağının (çiçek) biçim sayısına göre bileşen miktarının (%) değişimi

S.no	Bileşen adı	Çiçek	
		1.Biçim	2.Biçim
1	Cis-Salvene	0,77 ± 0,042426	-
2	α -Pinene	3,90 ± 0,042426	-
3	Camphene	1,25 ± 0,021213	5,26 ± 0,494975
4	β -Pinene	3,89 ± 0,06364	-
5	β -Myrcene	0,72 ± 0,049497	-
6	dl-Limonene	0,91 ± 0,021213	-
7	1,8-Cineole	14,01 ± 0,219203	10,27 ± 0,487904
8	α -Thujone	26,56 ± 0,070711	39,51 ± 0,247487
9	β -Thujone	5,25 ± 0,219203	4,60 ± 0,183848
10	Camphor	3,62 ± 0,113137	20,22 ± 0,523259
12	Bornyl acetate	0,65 ± 0,219203	5,62 ± 0,254558
13	β -Caryophyllene	5,63 ± 0,035355	3,79 ± 0,13435
14	α -Humulene	5,60 ± 0,183848	
15	Borneol	1,95 ± 0,021213	3,87 ± 0,077782
16	Caryophyllene oxide	0,59 ± 0,275772	-
17	Humulene epoxide II	1,14 ± 0,296985	-
18	Viridiflorol	14,67 ± 0,155563	6,96 ± 0,042426
19	Carvacrol	1,05 ± 0,424264	-
20	Manool	7,84 ± 0,084853	-
	Toplam	% 100	% 100

Ayrıca araştırma sonuçlarına göre uçucu yağ bileşenleri üzerine yetiştirme ortamı, biçim sayısı gibi faktörlerin etkili olduğunu belirtmiş (Yenikalaycı, 1998). Çalışmamız benzer şekilde; Adana ve Pozantı'da yürüttüğü çalışmada *S. officinalis* L.' in Uçucu yağ bileşenleri çiçekte, thujon %12,61, α - pinen %3,76, sabinen %12,1, β - pinen %20,4, 1,8-cineole %23,8, Camphor %7,5, borneol %12,3, bornil asetat %3,2, caryophyllene %5,7 olarak tespit etmiştir (Ekren, S ve ark. 2007). Bu çalışmada, uçucu yağın ana bileşenleri, thujone %26,68, (E) - β -karyofilen %7,47, 1,8-cineol %7,19, α -humulen %6,11, β -Pinen %5,44, β -thujone %5,35, Camphor %4,84, allo-aromadendrene %4,55, borneol % 3,69 ve α -pinen % 3,58 (Damyanova ve ark., 2016). Yapılan çalışmada, 5 farklı lokaliteden topladığı *Salvia officinalis* L. yapraklarında uçucu yağ oranının %1,4-3,5 arasında değiştiğini, 19 adet uçucu yağ bileşeni bulunduğunu, en yüksek miktarda thujone olduğunu bildirmişlerdir (Kustrak ve ark., 1984). *Salvia officinalis*'de uçucu yağ verimi ve bileşenlerinin mevsimsel değişimlerini inceledikleri çalışmalarında, tıbbi adaçayının yapraklarını Haziran-Aralık ayları arasında 7 kez aynı yerden toplamışlardır. Uçucu yağın verim ve bileşenlerinde aydan aya değişimler olduğunu, en fazla uçucu yağ oranının temmuz ayında toplanan yapraklardan elde edildiğini, thujonun en yüksek ekim ayında olduğunu belirtmişlerdir (Pitarevic ve ark., 1984). Sırbistan ve Karadağ'dan topladıkları *Salvia officinalis* L. popülasyonlarda yapraklarda ki uçucu yağ miktarını çiçeklerden daha fazla bulduklarını, Sırbistan popülasyonlarının ortalama uçucu yağ oranının %1,66, Karadağ popülasyonlarında ise yapraklarda %1,41, çiçeklerde %1,13 olduğunu belirtmişlerdir. Çiçeklerde uçucu yağ ana bileşenleri, α -thujone %9,97, camphor %5,82, borneol %6,35, manool %13,48 olarak tespit etmişlerdir (Couladis ve ark., 2002). Tıbbi adaçayında hasat zamanı ve biçim yüksekliği ile ilgili yaptıkları çalışmada, bitkinin değişik kısımlarından elde ettikleri uçucu yağ oranları çiçeklerde %0,6 olarak bulunmuştur. Tespit edilen 25 uçucu yağ bileşenlerinden, en fazla miktarda bulunanlar: α ve β -thujone, 1,8-cineole ve viridiflorol olarak tespit edilmiştir (Zutic ve ark., 2003). Çiçekte ikinci biçimde elde edilen Uçucu yağın ana bileşeni α -thujone %39,51 olarak bulunmuştur. İkinci biçimde elde edilen α -thujone oranı yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur.

4. Sonuç

Salvia L. türünün uçucu yağ kompozisyonunun biçim zamanındaki ekolojik faktörlere bağlı olarak uçucu yağların değerlendirilmesine yönelik bir çalışmadır. Çavdarhisar ilçesinde yaz ayında yapılan biçimde 20 bileşen, sonbaharda yapılan biçimde 9 bileşen tanımlanmıştır. Uçucu yağ oranı en yüksek çiçekte ikinci biçimde %2,33 olarak tespit edilmiştir. Çiçekte elde edilen ana bileşen birinci biçimde α -thujone %26,56, ikinci biçimde elde edilen ana bileşen α -thujone %39,51 olarak elde edilmiştir. Ekolojik faktörlere göre uçucu yağ bileşenlerinin de farklılık gösterdiği düşünüldüğünde farklı lokasyonlarından farklı *Salvia* türleri üzerinde daha fazla çalışmaların yürütülmesi faydalı olacaktır.

Kaynakça

- Başer, K.H.C., Özek, T., Akgül, A., Tumen, G. 1993. "Composition of the Essential Oil of *Nepeta Racemosa* Lam.," J.Essent.Oil.Res., 5(2): 215-217.
- Baydar, H., Sagdic, O., Ozkan, G., Karadogan T. 2004. "Antibacterial Activity and Composition of Essential Oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* Species with Commercial Importance in Turkey", Food Control, 15: 169-172.
- Bayram, E. 2001. "Batı Anadolu Florasında Yetişen Anadolu Adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill)'Nda Uygun Tiplerin Seleksiyonu Üzerine Araştırma", Türk. J. Agric. For: 351-357.
- Baytop, T. 1999. Türkiye'de Bitkiler İle Tedavi Geçmişte ve Bugün (II. Basım). Nobel Tıp Kitapevleri.
- Ceylan, A. 1996, Tıbbi Bitkiler-II (Uçucu Yağ Bitkileri) E.Ü.Z.F. Yayınları No:481, Bornova, İzmir, ISBN:975-483-362-1, S.225-240.
- Couladis, M., Tzakou, O., Mimica-Dukic, N., Jancic, R. and Stojanovic, D. 2002. Essential oil of *Salvia officinalis* L. from Serbia and Montenegro. Flavour and Fragrance Journal. 17 (2): 119-126.
- Damyanova, S., Mollova, S., Stoyanova, A., Gubenia, O. 2016. Chemical composition of *Salvia officinalis* L. essential oil from Bulgaria. Ukrainian Food Journal, 5(4).
- Digrak, M., İlçim, A., Alma, M. H. 1999. "Antimicrobial Activities of the Extracts of Various Plants (Valex, Mimosa Bark, Gallnut Powders, *Salvia* Sp. And *Phlomis* Sp.)", Tr. J. Of Biology., 23: 241-248.
- Ekren, S., Ark. Farklı Biçim Yüksekliklerinin Adaçayı (*Salvia officinalis* L.) Genotiplerinde Agronomik ve Teknolojik Özelliklere Etkisinin Belirlenmesi. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2007, 44 (1): 55-70. İzmir.
- Ekren, S., Sönmez, Ç., Sancaktaroğlu, S., Bayram, E. 2007. Farklı biçim yüksekliklerinin adaçayı (*Salvia officinalis* L.) genotiplerinde agronomik ve teknolojik özelliklere etkisinin belirlenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 44(1), 55-70.
- Kamatoua, G.P.P., Viljoen A.M., Gono-Bwalya A.B., van Zyl R.F., van Vuuren R.L., Lourens, A.C.U., Baser, K.H.C., Demirci B., Lindsey K.L., van Staden J., Steenkamp P. 2005. "The in Vitro Pharmacological Activities and a Chemical Investigation of Three South African *Salvia* Species", Journal of Ethnopharmacology, 102 (3): 382-390.
- Kustrak, D., Kuftinec, J. and Blazevic, N. 1984. Yields and composition of sage oils from different regions of the Yugoslavian Adriatic coast. Journal of Natural Product, 47(3): 520-524. CAB Abstracts .
- Parekh, J., Jadeja, D., Chanda, S. 2005. "Efficacy of Aqueous and Methanol Extracts of Some Medicinal Plants for Potential Antibacterial Activity", Turk J.Bio., 29: 203-210.
- Pitarevic, I., Kuftinec, J., Blazevic, N. and Kustrak, D. 1984. Seasonal variation of essential oil yield and composition of Dalmatian sage, *Salvia officinalis* L. Journal of Natural Product, 47(3): 409-412. CAB Abstracts.
- Porte, A., R. L. O. Godoy, and L. H. Maia-Porte. 2013. "Chemical composition of sage (*Salvia officinalis* L.) essential oil from the Rio de Janeiro State (Brazil)." Revista Brasileira de Plantas Medicinai 15.3: 438-441.
- Onlooker, "Sage against Age", The Pharmaceutical Journal Vol, 255:708 (1995).
- Yenikalaycı, A. 1998. Çukurova Bölgesinde Doğal Adaçayı Türleri (*Salvia* spp.) ile Tıbbi Adaçayı (*Salvia officinalis* L.)'nın Kültürü ve Kemotaksonomik Arastirmalar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Adana.

- Yılmaz, H. 1988. Tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.)'nda ekolojik ve morfogenetik varyabilite. (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı.
- Zutic, I., E. Putievsky, N. Dudai. 2003. Influence of Harvest Dynamics and Cut Height on Yield Components of Sage *Salvia officinalis* L., Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants, Vol.10, No:4.



***Akkermansia muciniphila*: Obezite ve Diyabetten Korunmada Yeni Bir Alternatif Olabilir mi?**

Havva Polat¹, Lütfiye Ekici^{2*}

¹ Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7872-3810)

² Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2216-9128)

(İlk Geliş Tarihi 13 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 4 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.563713)

ATIF/REFERENCE: Polat, H. & Ekici, L.. (2019). *Akkermansia muciniphila*: Obezite ve Diyabetten Korunmada Yeni Bir Alternatif Olabilir mi?. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 533-543.

Öz

Akkermansia muciniphila, insan fekal örneğinden yakın tarihte izole edilen ve dikkatleri üzerine çeken gastrointestinal mikrobiyota üyelerinden biridir. Bilimsel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, *Akkermansia muciniphila*'nın diyabet ve obezite gibi günümüzün önemli sağlık sorunlarına karşı alternatif bir çözüm olabileceğini düşündürmektedir. *Akkermansia*'nın bu etkisi, müsinin degrade edebilme yeteneği sayesinde mukus kalınlığını ve bağırsak bariyer bütünlüğünü pozitif şekilde modüle ederek metabolik endotoksemiye azaltmasından kaynaklanmaktadır. *Akkermansia* insülin salgılanmasını uyaran GLP-1 hormonunu sekresyonunu arttırarak da etkili olmaktadır. İnsanların beslenme alışkanlıkları, alkol tüketimi, metmorfin ve antibiyotik tedavileri bağırsaktaki *Akkermansia* yoğunluğunu birebir etkileyen faktörler arasındadır. Bireylerin diyetlerinde yer alan gıdaların polifenol, probiyotik ve prebiyotik içeriklerinin de *Akkermansia* sayısı üzerine etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Bu derlemenin amacı, *Akkermansia muciniphila*'nın bağırsak florasındaki önemi ve aktivitesi üzerine etkili faktörlerin değerlendirilmesidir. Ayrıca, *Akkermansia muciniphila*'nın obezite ve diyabet üzerine etki mekanizması konusundaki literatür verilerinin derlenmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gastrointestinal mikrobiyota, *Akkermansia muciniphila*, Diyabetes mellitus, Obezite.

***Akkermansia muciniphila*: Could It Be a New Alternative to Prevention from Obesity and Diabetes?**

Abstract

Akkermansia muciniphila is one of the members of the gastrointestinal microbiota which has been recently isolated from the human fecal sample and attracted attention. The results obtained from scientific studies suggest that *Akkermansia muciniphila* may be an alternative solution to today's important health problems such as diabetes and obesity. This effect of *Akkermansia* result from the reduction of metabolic endotoxemia by modulating the mucus thickness and intestinal barrier integrity positively by the ability to degrade the mucin. *Akkermansia* is also effective by increasing the secretion of GLP-1 which stimulates insulin secretion. Nutritional habits of people, alcohol consumption, metmorphine and antibiotic treatments are among the factors that directly affect the density of *Akkermansia* in the intestine. It was determined that the polyphenol, probiotic and prebiotic contents of the foods included in the diets of individuals had effects on the number of *Akkermansia*. The aim of this review is to evaluate the factors affecting the importance and activity of *Akkermansia muciniphila* in intestinal flora. In addition, it is aimed to compile the literature data on mechanism of the action of *Akkermansia muciniphila* on obesity and diabetes.

Keywords: Gastrointestinal microbiota, *Akkermansia muciniphila*, Diabetes mellitus, Obesity.

* Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye ORCID: 0000-0002-2216-9128, lutfiyed@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Son çeyrek yüzyılda, insanlar doymuş yağlarca zengin, besinsel lifçe fakir ve yüksek kalorili beslenmeye yönelmişlerdir. Ayrıca insanlar daha az hareket etmeye başlamışlardır. Bu değişimle birlikte obezite ve diyabet gibi metabolik hastalıkların, çocukluk ve adolesan (ergenlik) dönemlerinden başlayarak her yaş döneminde, görülme sıklığı (prevelans) da artmıştır. Araştırmalar aşırı kilolu ve obez bireylerde, kalori kısıtlama ve fiziksel aktivite artışının %5 -10 arasında kilo kaybı sağladığını göstermektedir. Ancak verilen toplam kilonun neredeyse tamamı, tedaviden yaklaşık beş yıl sonrasına kadar geri alınmaktadır (Everard ve Cani, 2013; Fabersani, Russo, Marquez, Abejón-Mukdsi, Medina ve Gauffin-Cano, 2018; Kuzu, 2017; McLaughlin, Abbasi, Carantoni, Schaaf ve Reaven, 1999). Bununla birlikte farmakolojik tedaviler de kilo kontrolünde uzun vadede etkili değildir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, yararlı mikroorganizmaların obezite, insülin direnci, Tip 1 ve Tip 2 diyabet gibi bazı rahatsızlıkların neden olduğu zararlı etkileri hafifletmek için iyi bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır (Kahn, Hull ve Utzschneider, 2006; Federico, Dallio, Di Sarno, Giorgio ve Miele, 2017; McLaughlin ve Reaven, 2003).

Yakın zamanda keşfedilen intestinal mikroflora üyelerinden biri olan *Akkermansia muciniphila*'nın yoğunluğu diyabet ve obezite ile ters korelasyon göstermektedir. Hayvan ve insan üzerine yapılan klinik çalışmalardan elde edilen sonuçlar *A. muciniphila*'nın obezite, diyabet ve ilişkili metabolik bozuklukların önlenmesi ve tedavisi için umut verici, probiyotik bir bakteri olduğunu göstermektedir (Zhou, 2017). Bu derlemede, *Akkermansia muciniphila*'nın bağırsak florasındaki önemi, aktivitesi üzerine etkili faktörler, obezite ve diyabet gibi günümüzün önemli problemleri üzerine olan olumlu etkileri ele alınmaktadır. Ayrıca tüketilen farklı gıdaların bağırsaktaki *A. muciniphila* yoğunluğu üzerine olan etkileri üzerinde de durulmuştur.

2. Gastrointestinal mikrobiyota

Gastrointestinal (GI) kanal, solunum sisteminden sonra vücudumuzdaki en büyük ikinci yüzey alanına sahip kısımdır (Ceyhan, 2012). Bu kanalda kolonize olmuş bakteri, virüs, mantar ve protozoa gibi mikroorganizma gruplarından oluşan mikroflora "intestinal mikrobiyota" olarak adlandırılmaktadır (Haque ve Barritt, 2016). İnsan vücudunda yaşayan bakteri sayısının, insan somatik hücre sayısından 10 kat daha fazla olduğu bilinmektedir (Conlon ve Bird, 2015). İnsanlar GI kanalda 500-1000 kadar bakteri türü taşımaktadır. Bu türlerin çoğu (> %90) *Bacteroidetes* ve *Firmicutes* familyalarına aittir. Bunlara kıyasla daha az kısmını ise *Actinobacteria*, *Fusobakteria*, *Spirochaetae* ve *Verrucomicrobia* familyalarına ait türler oluşturmaktadır (Chan, Estaki ve Gibson, 2013).

Gastrointestinal kanalın kolonizasyonu doğumdan hemen sonra başlamaktadır (Guarner ve Malagelada, 2003). Bebek ilk olarak annesinin vajenindeki, daha sonrasında ailesindeki ve çevresindeki mikroorganizmalarla karşılaşmaktadır. Böylece bebeğin ilk kolon florası tamamlanmış olmaktadır (Candela ve ark., 2015). Doğum şekli (normal veya cerrahi) ve gestasyonel yaşı (gebelik yaşı) ilk kolon florasının kompozisyonunu etkileyen önemli faktörler arasındadır. Sonraki süreçte annenin beslenme şekli (probiyotik alıp almaması), bebeğin beslenme şekli (anne sütü veya mama tüketimi) mikrofloranın oluşumunu etkilemektedir (García-Peña, Álvarez-Cisneros, Quiroz-Baez ve Friedland, 2017). Mikrobiyal çeşitlilik yaşamın ilk birkaç yılında artmakta ve 2-4 yaşlarında yetişkin florasına ulaşacak şekilde stabilize olmaktadır (Koenig ve ark., 2010). Devam eden zamanda ise genetik faktörler, yaşlanma, beslenme alışkanlıkları, coğrafik köken, yaşam tarzı, düzenli kullanılan ilaçlar ve antibiyotik kullanımı gibi çeşitli faktörler mikrobiyota üzerine etkili olmaktadır. Ayrıca fiziksel aktivite artışının yararlı mikroorganizma yoğunluğunu olumlu yönde etkileyebileceği aktarılmaktadır (Blandino, Inturri, Lazzara, di Rosa ve Malaguarnera, 2016). Sağlıklı bir GI kanalda kolonize olan mikroorganizmaların farklı görevleri vardır. Bunlar;

1. Kolona ulaşan kompleks polisakkaritleri yıkıma uğratarak propiyonat, bütirat ve asetat gibi kısa zincirli yağ asitlerini (KZYA) ortaya çıkarmak, kolon epiteli için bu yağ asitlerinin enerji kaynağı olarak kullanımını sağlamak,
2. Patojen mikroorganizmaların çoğalmasına engel olmak,
3. Kolona ulaşan atık maddeleri metabolize ederek vitamin ve kofaktör sentezini yapmak,
4. GI sistem motilitesinin düzenlenmesini ve GI sistem vaskülarizasyonunu (damarlanma) sağlamak,
5. Doğal ve adaptif immünitinin gelişmesini sağlayarak, bağışıklık yanıtlarını aktifleştirmek, olarak sıralanabilir (Lee ve Mazmanian, 2010; Özden, 2006; Yetkin, Satış ve Satış, 2017).

GI mikrobiyota sergilediği işlevlerle sindirim, bağışıklık ve hormon sistemleri üzerine etkili olmaktadır. Nitekim GI mikrobiyotada meydana gelebilecek olumsuz değişiklikler bağırsak homeostazını bozarak GI hastalıklar, bulaşıcı bağırsak hastalıkları, karaciğer hastalıkları, mide-bağırsak malignitesi, diyabetes mellitus, alerjik hastalıklar, otizm, metabolik sendrom ve obezite gibi hastalıkların patogenezini (kökenini) oluşturmaktadır. İntestinal mikrobiyotada meydana gelen değişiklikler ve çeşitli hastalıklarla ilişkisi Tablo 1' de özetlenmiştir (Koçak ve Şanlıer 2017; Yılmaz & Altındış, 2017).

2.1. GI Mikrobiyotanın Diyet ve Obezite ile İlişkisi

Obezite, besinler ile alınan enerjinin, harcanan enerjiden fazla olmasından kaynaklanan ve vücut yağ kitlesi/yağsız vücut kitlesi oranının artması şeklinde ortaya çıkan kronik bir hastalık olarak tanımlanmaktadır (Altunkaynak ve Özbek, 2006). Obezite ile ilgili yapılan araştırmaların sonucunda elde edilen bulgular, GI mikrobiyota içeriğinin, obez bireylerde sağlıklı bireylere kıyasla değiştiğini ortaya koymaktadır. Obez bireylerin mikrobiyotasında *Bacteroidetes* sayısı ve *Firmicutes/Bacteroidetes* oranı azalırken; *Lactobacillus* sayısı artış göstermiştir (Koçak ve Şanlıer 2017; Yılmaz ve Altındış, 2017). Bununla birlikte GI mikrobiyota makro besin öğelerini fermente ederek obezite üzerine etki etmektedir. Bağırsak mikrobiyotasında bulunan bakteriler kompleks polisakkaritleri fermente

ederek KZYA' yı oluşturmaktadır. Bu KZYA bağırsak mukozasından emilip lipit ve glukoz sentezinde kullanılmaktadır. Bunun neticesinde, birey bir günde yaklaşık 100 kcal ek kalori almaktadır. Özetle GI mikrobiyota besinlerin emilimini ve depolanmasını arttırmakta, bunun sonucunda da vücutta enerji artışına, ileri seviyede ise obeziteye neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar obez bireylerin bağırsaklarında bulunan KZYA' larının zayıf bireylere göre %20 daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır (Altuntaş ve Batman, 2017; Koçak ve Şanlıer 2017; Mackowiak, 1982; Tekin, Çiçek ve Konyalıgil, 2018; Schwartz ve ark., 2010).

Diabetes mellitus (DM), hücre içi insülin üretiminin tamamen ya da kısmi olarak eksik olması veya çevre dokularda insülin direncinin sebep olduğu kronik hiperglisemi (kan şekeri yüksekliği), karbonhidrat, yağ ve protein metabolizmasında bozukluklar nedeniyle, bu besinlerden yeterince yararlanamama şeklinde seyreden ve bunların sonucunda membran permeabilitesinde değişikliklerin olduğu, aterosklerozun geliştiği metabolizma bozukluğudur (American Diabetes Association, 2014; Koloğlu, 1996). DM dört grup altında sınıflandırılmaktadır. Bu gruplardan üçü; Tip 1 diyabetes mellitus (Tip 1 DM), Tip 2 diyabetes mellitus (Tip 2 DM) ve gestasyonel diyabetes mellitus (GDM) birincil diyabet türü iken, dördüncü grup olan spesifik diyabet türleri ise ikincil diyabet türü olarak bilinmektedir (American Diabetes Association, 2014). Tip 1 DM, genetik yatkınlığı olan bireylerde beslenme faktörleri ve enfeksiyon gibi çevresel uyarıcılar sonucunda β -hücrelerinin hasar görmesiyle mutlak insülin eksikliği sonucu oluşan otoimmün bir hastalıktır. Yapılan çalışmalar disbiyozise olmuş mikrobiyotanın (sağlıksız mikrobiyota) Tip 1 DM' e neden olduğunu kanıtlamaktadır. Tip 2 DM ise genetik yatkınlık, obezite, insülin direnci ve metabolik endotoksemi sonucunda insülin salgılanmasındaki bozukluğun neden olduğu kronik bir hastalıktır. Yüksek kalorili gıda tüketiminin artması buna karşın fiziksel aktivitenin azalması bu hastalığı tetiklemektedir. GI mikrobiyotanın Tip 2 DM üzerine etkisi, KZYA' yı ve insülin salgılayıcı hormonları etkilemesi ile ilişkilendirilmektedir (Han ve Lin, 2014; Onkano, Vaananen, Karvonen ve Tuomilehto, 1999)

Tablo 1. GI mikrobiyota kompozisyonunda meydana gelen değişikliklere ilişkili hastalıklar

Hastalık	Mikrobiyotadaki Değişiklik	Etki
Allerji	<i>Lactobacillus spp.</i> ' da azalma	Bakterilerin erken kolonizasyonu allerjik mediyatörlerin oluşumunda/ azalmasında önemlidir.
	<i>Bifidobacterium adolescentis</i> ' de azalma	
	<i>Clostridium difficile</i> ' de azalma	
	<i>Helicobacter pylori</i> ' de azalma	
Çölyak	<i>Bacteroides vulgatus</i> ' da artış	Bakterilerin erken kolonizasyonu, gluten toleransına neden olabilmektedir.
	<i>Escherichia coli</i> ' de azalma	
	<i>Clostridium coccooides</i> ' de azalma	
Gastrik Kanser	<i>Helicobacter pylori</i> ' de artış	Dokuda kanser gelişiminde etkilidir.
Otizm	<i>Bacteroidetes</i> ' de artış	Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında bakteri çeşitliliğinin azaldığı belirtilmektedir.
	<i>Proteobacteria</i> ' da artış	
	<i>Actinobacteria</i> ' da azalma	
	<i>Firmicutes</i> ' de azalma	
Obezite	<i>Bacteroidetes</i> ' de azalma	Bağırsakta Gram (-) bakteri sayısının artması sonucu dolaşımda lipopolisakkarit (LPS) miktarı artmaktadır. Bu da endotoksemi ve insülin direncine neden olmaktadır.
	<i>Lactobacillus</i> ' da artış	
	<i>Firmicutes/Bacteroidetes</i> oranında azalma	
	<i>Methanobrevibacter smithii</i> ' de azalma	
Tip 2 diyabet	<i>Firmicutes</i> ' de azalma	Bağırsakta Gram (-) bakteri sayısının artması sonucu dolaşımda LPS miktarı artmaktadır. Bu da endotoksemi ve insülin direncine neden olmaktadır.
	<i>Clostridium</i> ' da azalma	
	<i>Bacteroides-Prevotella</i> ' da artış	
	<i>Betaproteobacteria</i> ' da artış	
	<i>Bacteroidetes/Firmicutes</i> oranında artış	
Tip 1 diyabet	<i>Bacteriodes</i> ' de artış	İntestinal geçirgenliğin azalması ve inflamasyon sonucunda pankreas beta hücreleri zarar görmektedir.
	<i>Firmicutes</i> ' de azalma	
	<i>Akkermansia</i> ' da azalma	
Hipertansiyon	<i>Veillonellaceae</i> ' da azalma	Plazmada asetat ve heptanoat seviyelerinin artması ve mikrobiyal kompozisyon, kan basıncı artışı ile ilişkilendirilmektedir.

GI mikroflorada bulunan Gram (-) bakterilerin çoğu patojen özelliğindedir. Bu patojeniteye Gram (-) hücre duvarındaki endotoksin özellikteki LPS neden olmaktadır. Obez ve Tip 2 diyabetli hastalarda yüksek yağlı beslenme sonucu plazmada LPS düzeyinin artması, metabolik endotoksemiye neden olmaktadır. LPS, bir enflamasyon reseptörü olan Toll-like 42 reseptörünü (TL-42) insülinin metabolik yolunda aktive etmekte ve insülin sekresyonunu baskılamaktadır. Bu metabolizma sonucunda ise insülin direnci ve daha da ötesinde diyabet ortaya çıkmaktadır (Altuntaş ve Batman, 2017; Cani, Knauf, Iglesias, Drucker ve Delzenne, 2006; Goto ve ark., 1994; Rodes ve ark., 2013).

GI mikrobiyota vücutta inkretin hormon sekresyonunu da etkilemektedir. İnkretin hormon; besin alımı sonucunda GI sistemdeki hücrelerde salgılanarak, insülin sekresyonunu uyaran hormonlardır. Glukagon benzeri peptit-1 (GLP-1) ve gastrik inhibitör polipeptit

diğer adıyla glukoz bağımlı insülinotropik peptit (GIP) öne çıkan inkretin hormonlardır. GLP-1 ileum (ince bağırsağın en son kısmı) ve kolondaki L hücrelerinden, GIP ise daha üst kısımlarda bulunan K hücrelerinden salgılanır. Bu iki hormon pankreastaki β -hücrelerinden insülin sekresyonunu arttırmaktadır. GLP-1 yemek yedikten sonra kan dolaşımına salınır ve GLP-1R (Glukagon benzeri peptit-1 reseptörü) vasıtası ile glukoz bağımlı insülin salgılanmasını ve β -hücrelerinden insülin biyosentezini uyarıcı etki yapmaktadır. GLP-1 β -hücresinin kütesini arttırmakta ve glukagon sekresyonunu baskılamaktadır. Ayrıca GLP-1 midenin boşalmasını yavaşlatarak, tokluk hissini uzun süre hissedilmesini sağlamaktadır. Böylece gıda alımını azaltmakta ve vücut ağırlığının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Baggio ve Drucker, 2007; Çolak, 2012).

Bağırsak mikrobiyotasındaki KZYA, safra asidi ve biyoaktif lipidler gibi bazı metabolitler, enteroendokrin L hücrelerinde eksprese olan GPR41, GPR43 ve TGR5 gibi reseptörleri aktive ederek inkretin hormon salgılanmasını düzenlemektedir. GPR41 reseptörünün asetat tarafından aktiflenmesi leptin hormonu, GLP-1 ve NYY sekresyonunu arttırmaktadır. GPR43, bütirat veya propiyonat tarafından aktive edilerek adipogenezi (yağ hücresi oluşumu) arttırmaktadır. TGR5 ise safra asidi reseptörü olup, GLP-1 salımını uyarmaktadır (Kuzu, 2017). GPR119 reseptörü, insanlarda çoğunlukla pankreasta β -hücreleri ve gastrointestinal sistemde enteroendokrin hücreler tarafından eksprese edilmektedir. İn vitro çalışmalar, GLP-1 salgılanmasının modülasyonunda GPR119'ün bir rolü olduğunu göstermektedir. GPR119'ün fosfolipidler tarafından aktive edilmesi, gıda alımı ve vücut ağırlığı artışında bir azalmaya neden olmaktadır (Overton ve ark., 2006; Overton, Fyfe ve Reynet, 2008). *Akkermansia muciniphila*, GPR119 reseptörünü aktive eden ligand miktarını artırması nedeniyle obezite ile ilişkilendirilmektedir (Rodes ve ark., 2013).

3. *Akkermansia muciniphila*

Sağlıklı bir Kafkas kadından alınan dışkı örneğinden izole edilen *Akkermansia muciniphila*, *Verrucomicrobia* familyasına ait, münin degrade edici bir bakteridir (Ottman, Geerlings, Aalvink, De Vos ve Belzer, 2017). Derrien, Vaughan, Plugge, ve De Vos, (2004) tarafından yapılan çalışmada, insan bağırsağındaki münin bozucu bakterilerin çeşitliliği, kültüre alma ve 16S rRNA analizlerinin kombinasyonu ile araştırılmıştır. Bu çalışmada baskın bir bakteri olan MucT suşu, tek karbon ve nitrojen kaynağı olarak gastrik münin içeren anaerobik ortamda, dışkı yok olacak şekilde dilüsyon ile izole edilerek, anaerobik yumuşak agar tekniği ile saf bir kültür haline getirilmiştir. MucT suşu, Gram(-), mutlak anaerob, hareketsiz, spor oluşturmeyen, oval şekilli bir bakteridir. MucT suşundan elde edilen DNA'nın G (guanin) + C (sitozin) içeriği % 47. 6 mol olarak bulunmuştur. 16S rRNA gen dizisi analizi, izolataın *Verrucomicrobia*'nin bir parçası olduğunu ortaya koymuştur. *Verrucomicrobia*'nin yeni bir genetik türünü temsil eden MucT suşu *Akkermansia muciniphila* gen. nov., sp. nov. olarak isimlendirilmiştir (Derrien, Vaughan, Plugge ve De Vos, 2004). *A. muciniphila*, toplam fekal mikrobiyotanın % 1 - 4'ünü temsil etmektedir (Collado, Derrien, Isolauri, De Vos ve Salminen, 2007; Derrien, Collado, Ben-Amor, Salminen ve De Vos, 2008). Yapılan diğer araştırmalarda da kemirgenler, tavşan, eşek, domuz ve at gibi hayvanların bağırsak mikrobiyotasında *A. muciniphila* varlığı bulgulanmıştır (Kanengoni ve ark., 2015; Liu ve ark., 2014).

GI kanalın gelişimi sırasında oluşan mukus tabakası, bağırsak lümeninin kayganlaştırıcı ve koruyucu özelliklerini arttırmaktadır. Mukus tabakası bir yandan bağırsak lümenini korurken, bir yandan da bazı bakteriler tarafından enerji ve karbon kaynağı olarak kullanılmaktadır. Böylece mukozada kolonize olan bakteriler kanaldaki diğer bakteriler ile rekabet etmek zorunda kalmamakta ve konakçı canlıdan gelecek olan besin elemanlarına gerek duymamaktadır. Mukozaya kolonize olabilen bakteriler, konakçıyı zararlı mikroorganizmalardan korurken, mikrobiyotanın yeniden düzenlenmesinde de rol almaktadırlar (Derrien ve ark., 2011; Reid ve ark., 2011). Mukusun ana bileşeni olan münin, amino asitler ve oligosakkaritlerden oluştuğundan bağırsak bakterileri tarafından besin kaynağı olarak kullanılmaktadır. Müninlerin oligosakkarit zincirlerinin parçalanması için gerekli olan enzimlere sahip olan *Akkermansia muciniphila*, gösterdiği enzimatik aktivitesi sonucunda münini degrade etmektedir. Degradasyon sonucunda fukoz, galaktoz, N-asetilglukozamin, N-asetilgalaktozamin, sialik asit, sülfat, disakkarit ve küçük oligosakkaritler açığa çıkmaktadır (Derrien ve ark., 2010; Tailford, Crost, Kavanaugh ve Juge, 2015). Münin degradasyonu ile mikrobiyotanın enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Böylece açlık, malnütrisyon ve toplam parenteral nütrisyon gibi besin yokluğu durumlarında konakçıya avantaj sağlanmaktadır (Belzer ve De Vos, 2012; Derrien ve ark., 2004). Collado ve ark., (2007) tarafından yapılan çalışmada, fekal münin konsantrasyonu ile *A. muciniphila* sayısı arasında negatif bir ilişki olduğu belirtilmektedir.

3.1. *Akkermansia muciniphila*'nin Diyabet ve Obezite ile İlişkisi

Yapılan son çalışmalarda, *A. muciniphila* bolluğunun vücut ağırlığı, inflamasyon, metabolik sendrom, Tip 1 diyabet ve Tip 2 diyabet ile ters korelasyonu doğrulanmaktadır. Kolektif olarak, hayvan ve insan çalışmalarından elde edilen kanıtların artması, *A. muciniphila*'nin diyabet, obezite ve ilişkili metabolik bozuklukların önlenmesinin yanı sıra bu hastalıkların tedavisi için yüksek kullanılma potansiyeli olan, oldukça umut verici bir probiyotik olduğunu göstermektedir (Zhou, 2017).

A. muciniphila'nin sağlık üzerinde yararlı etkilerinin mekanizmaları tam olarak aydınlatılmamasına rağmen, mukus kalınlığının ve bağırsak bariyer bütünlüğünün *A. muciniphila* tarafından pozitif modülasyonunun, bu bakteriye probiyotik karakter kazandırdığı düşünülmektedir. Obez ve Tip 2 diyabetli farelerin tedavisinde *A. muciniphila* takviyesinin değerlendirildiği bir çalışmada, mukus kalınlığının yeniden düzenlendiği, serum LPS ve metabolik endotokseminin azaldığı belirlenmiştir (Everard ve ark., 2013). N-Oleoyl ethanolamide (OEA) ve 2-oleoyl glycerol (2-OG) gibi biyoaktif lipidler, GPR119 reseptörünün ligandlarıdır. GPR119 reseptörü, insülin sekresyonunu uyarıcı GLP-1 hormonunun salgılanmasını uyarmaktadır. Yapılan bir çalışmada *Akkermansia muciniphila* uygulamasının, biyoaktif lipid 2-OG'nin bağırsak düzeylerini önemli ölçüde arttırdığı saptanmıştır (Rodes ve ark., 2013).

Akkermansia muciniphila'nin diyabet ve obezite ilişkisini incelemek için hayvan ve insan üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Öncelikle, hayvan çalışmalarına değinilecektir. Tarafımızdan yapılan literatür taramalarında, son yıllarda metabolik bozukluğa sahip farelerde *A. muciniphila* takviyesinin etkisini ve metabolik bozukluklarla olan ilişkisini inceleyen yayınların sayınındaki artış dikkat çekicidir. Apolipoprotein E (ApoE), çok düşük yoğunluklu lipoprotein (VLDL) ve düşük yoğunluklu lipoproteinlerin (LDL) karaciğer

ve dokulara taşınmasında görev alan, VLDL ve LDL reseptörlerinin ligandı olarak işlev gören bir yapıdır (Bayly, 2014). *A.muciniphila* takviyesinin ateroskleroz üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmada, ApoE yapısından eksik (ApoE -/-) farelere 8 hafta boyunca yüksek yağlı batı diyeti uygulamasının, dışkıdaki *A.muciniphila* yoğunluğunu $7.0 \times 10^9/g$ dışkı' dan $4.6 \times 10^9/g$ dışkı seviyesine düşürdüğü saptanmıştır. Aynı çalışmada, *A.muciniphila* yoğunluğu $4.6 \times 10^9/g$ dışkı seviyesine düşen farelere bu kez 8 hafta süresince günde 5×10^9 kob *A. muciniphila* takviyesinin ise bu bakterinin yoğunluğunu yağlı diyet öncesindeki miktarına yeniden yükselttiği bildirilmektedir. Bu çalışmada ayrıca *A.muciniphila* takviyesinin bağırsak bütünlüğünü yeniden düzenleyerek, ateroskleroza neden olan inflamasyon ve metabolik endotoksemiye azalttığı saptanmıştır (Li, Lin, Vanhoutte, Woo, ve Xu, 2016;). Everard ve ark., (2013) tarafından obezite ve Tip 2 diyabet ile *A. muciniphila* arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir çalışmada, diyetle indüklenen obez (DIO) farelere oral yolla 4 hafta boyunca 2×10^8 kob *A. muciniphila* takviyesi yapılmıştır. Bu çalışmada, *A. muciniphila* takviyesinin yüksek yağlı diyetle beslenen DIO farelerin dışkı içeriğindeki *A. muciniphila* yoğunluğunu $10^8 g/$ dışkı' dan $10^{10}/g$ dışkı' ya yükselttiği tespit edilmiştir. Canlı *A. muciniphila* takviyesi ile DIO farelerde metabolik endotoksemisinin ve yağ kütlesi/ yağsız kütle oranının azaldığı gösterilmiştir. Ayrıca canlı *A. muciniphila* takviyesinin kana glukoz verilmesini sağlayan glukoz-6-fosfataz enziminin ekspresyonunu %40 oranında baskılayarak hiperglisemi ve insülin direncinde azalmaya neden olduğu kanıtlanmıştır. Her iki çalışmada da yüksek yağlı diyet mikrobiyotanın disbiyozisine neden olduğu saptanırken, *A.muciniphila* takviyesinin diğer mikrobiyota üyelerinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı bulgulanmıştır (Li ve ark., 2016; Shin ve ark., 2014).

Serum LPS düzeyindeki herhangi bir artış, çoğunlukla bağırsak bariyerinin işlevini kaybettiğini ve sızıntı yaptığını göstermektedir. Müsin tabakasının kalınlığı ise bağırsak geçirgenliğinin önemli bir ölçütüdür (Zhou, 2017). Araştırmalar, yüksek yağlı diyetle beslenen DIO farelerin, normal diyetle beslenenlere kıyasla % 46 daha ince bir mukus tabakasına sahip olduğunu göstermektedir (Everard ve ark., 2013). Yapılan çalışmalar *A. muciniphila* takviyesinin müsin tabakasının kalınlığını arttırdığını, bunun sonucunda da bağırsak geçirgenliğinin azalmasına bağlı olarak dolaşıma giren LPS miktarının azaldığını ortaya koymaktadır (Everard ve ark., 2013; Li ve ark., 2016).

Diyetle indüklenen obez (DIO) farelerde yapılan bir diğer çalışmada ise 4 haftalık yüksek yağlı diyetle beslenmelerinin ardından farelerde *A. muciniphila* sayısının düştüğü saptanmıştır. Daha sonra aynı farelere *A. muciniphila* 6 hafta boyunca günlük 4.0×10^8 kob düzeyinde verildiğinde bağırsaktaki sayının geri kazanıldığı belirlenmiştir. Ancak yüksek yağlı diyetle beslenen DIO farelerde vücuda oral yolla 4.0×10^6 kob düzeyinde *A. muciniphila* alımının glikoz toleransını iyileştirmediği gözlenmiştir. Bu sonuç *A. muciniphila* için yanıt limiti olacak belirli bir doz miktarının bulunduğunu düşündürmektedir (Shin ve ark., 2014).

A. muciniphila inokülasyonunun metabolik parametreler üzerindeki etkisini araştırmak için obeziteye eğilimli bir fare suşunun (AxB19) kullanıldığı bir çalışmada, erkek AxB19 farelerine 4 hafta boyunca yüksek yağ ve yüksek sakaroz içeren bir diyet uygulanmıştır. Bunu takiben, fareler bir hafta süreyle günde 10^9 kob düzeyinde *A. muciniphila* ile beslenmiştir. Bu takviyeden sonra farelerin vücut ağırlığı, vücut yağı ve insülin direnci parametrelerinde önemli bir azalma olduğu ifade edilmiştir (Org ve ark., 2015).

İnsanlarla yapılan çalışmalarda da obezite ve diyabetin *A. muciniphila* sayısına olan etkisi araştırılmıştır. Obezite, insülin direnci, inflamasyon ve yağ metabolizması ile ilişkili bağırsak metagonomik işaretleyicilerini (marker) tanımlamak amacıyla yapılan çalışmada, Danimarkalı obez kadınlarda, serum total ve LDL kolesterol miktarındaki artış ile *A. muciniphila*'nın negatif ilişkili olduğu, beslenmede yağ alımının artması ile dışkıdaki *A. muciniphila* sayısının azaldığı kanıtlanmaktadır (Brahe ve ark., 2015)

Clarke ve ark., (2014) tarafından yapılan çalışmada diyet ve egzersizin bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda aktif sporculardaki *A. muciniphila* sayısının, vücut kitle indeksi (BMI) yüksek olan (32 kg/m^2) bireylere kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Kolombiyalı deneklerde BMI artışı ile mikrobiyota arasındaki ilişkiyi inceleyen bir diğer çalışmada *Akkermansia*'nın BMI ile negatif korelasyon gösterdiği sonucuna varılmıştır (Escobar, Klotz, Valdes, ve Agudelo, 2015). Obez, aşırı kilolu ve zayıf, 4-5 yaş aralığındaki çocuklarda yapılan bir çalışmada da diğer çalışmalara benzer şekilde obez ve aşırı kilolu çocuklarda *Akkermansia* yoğunluğunun düşük olduğu gösterilmiştir (Karlsson ve ark., 2012). Altı haftalık kalorili kısıtlaması öncesi ve sonrasında intestinal mikrobiyota, metabolik sendrom ve diyet arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmada, *A. muciniphila* yoğunluğunun aşırı kilolu ve obez bireylerde, açlık glukozu, bel-kalça oranı ve subkutan (deri altı) adiposit hücre çapı ile negatif korelasyon gösterdiği belirtilmektedir. Aynı çalışmada daha fazla *A. muciniphila* verilen bireylerin, daha iyi insülin duyarlılığına ve metabolik profile sahip olduğu gösterilmektedir (Dao ve ark., 2015). Bağırsak mikrobiyotasının Tip 2 DM ile ilişkisini araştırmak için yapılan çalışmada glukoz intoleransı durumuna göre, normal glukoz toleransı (NGT), DM öncesi (pre-DM) ve yeni teşhis edilmiş Tip 2 DM olmak üzere 3 grup oluşturulmuştur. *Akkermansia muciniphila* sayısının NGT grubunda, pre-DM grubundakine göre daha fazla olduğu bulgulanmıştır. Ayrıca *Verrucomicrobiae*'nin hem pre-DM hem de Tip 2 DM gruplarında anlamlı olarak daha düşük sayıda sahip olması, bu familyanın Tip 2 DM için belirteç olabileceği belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2013).

Gebelikte kilo alımının intestinal mikrobiyota üzerine olan etkisini inceleyen çalışmalarda ise bazı tutarsız sonuçlar göze çarpmaktadır. İspanyol gebe kadınlarda bağırsak mikrobiyotası, vücut ağırlığı, kilo alımı ve biyokimyasal parametreler arasındaki ilişkiyi açıklamayı amaçlayan çalışmada, *Akkermansia*'nın hamilelik sırasında daha fazla kilo alan kadınlarda daha az olduğunu belirtilmektedir (Santacruz ve ark., 2010). Bu çalışmaya karşıt çalışmalardan birinde, Finlandiyalı deneklerde kilolu annelerin bebeklerinin, normal kilolu annelerin bebeklerinden daha fazla *Akkermansia* barındırdığı ortaya konmuştur (Collado, Isolauri, Laitinen ve Salminen, 2010). Bir başka çalışmada ise aşırı kilolu hamilelerde, normal kilolu hamilelere kıyasla daha fazla *Akkermansia* olduğu belirtilmektedir. Ayrıca bu çalışmada hamilelikte aşırı kilo alımı ile *Akkermansia* yoğunluğunun azaldığı ifade edilmektedir (Collado, Isolauri, Laitinen ve Salminen, 2008). Elde edilen verilerin tutarsız olması nedeni ile gebelik sürecindeki kilo alımına bağlı olarak *Akkermansia* yoğunluğunun nasıl etkilendiği net bir şekilde açıklanamamaktadır.

4. *Akkermansia muciniphila* yoğunluğunu etkileyen faktörler

4.1. Probiyotik ve prebiyotik takviyeleri

Probiyotikler yeterli miktarlarda tüketildiğinde doğal bağırsak florasının özelliklerini geliştirerek ve/veya gastrointestinal sistemin metabolik aktivitesini değiştirerek tüketici sağlığını yararlı şekilde etkileyen canlı mikroorganizmaların tek ya da karışık kültürlerinden oluşan mikrobiyal gıda takviyeleridir (Özyurt ve Ötles, 2014). Probiyotiklerin obezite ve diğer metabolik hastalıklara etkisi bağırsaktaki bakteri kompozisyonunu değiştirmesiyle açıklanmaktadır. Probiyotik takviyesi toplam bakteri yükünü arttırmaktadır (Goossens ve ark., 2003; Tannock, Munro, Harmsen, Welling ve Smart, 2000). Doğal bağırsak florası tarafından seçici olarak fermente edilebilen, GI floranın kompozisyonu ve/veya aktivitesini etkileyerek, bireye iyi olma hali ve bireyin sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösteren besin bileşenleri ise prebiyotik olarak tanımlanmaktadır (Guarner ve ark., 2017). Prebiyotik özelliğe sahip gıda bileşenlerinin çoğunluğunu karbonhidrat yapıdaki fruktooligosakkaritler (FOS), inülin ve galaktooligosakkaritler oluşturmaktadır. Bu prebiyotikler muz, elma, çilek, enginar, kuşkonmaz, soya fasulyesi, tam buğday, arpa, keten tohumu, badem ve ceviz gibi gıdalarda doğal olarak bulunmaktadır. Prebiyotik açısından zengin bu gıdalar obeziteye karşı önemli alternatifler arasındadır (Choque Delgado ve Tamashiro, 2018). Prebiyotiklerin KZYA miktarında artış sağlayarak, motilite ve gastrointestinal fonksiyonu iyileştirerek, ayrıca GI kanal ile ilişkili bağışıklık sistemi dokularını güçlendirerek bağırsaktaki immün ve metabolik fonksiyonlar üzerine faydalı etki göstermektedir (Schley ve Field, 2003; Roberfroid ve ark., 2010).

Tüketilen probiyotik ve prebiyotiklerin bağırsak florasındaki *A. muciniphila* yoğunluğu üzerine etkilerini inceleyen az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan birinde, karışım olarak verilen probiyotiklerin *A. muciniphila* üzerine etkisini inceleyen in vitro bağırsak modeli ile yapılan çalışma, probiyotik ilavesinin kolon boyunca toplam KZYA'larını zamana bağlı olarak arttırdığını göstermektedir. KZYA'ları münin kalınlaşmasını teşvik etmektedir. KZYA'ların artması, münin degrade edici bir bakteri olan *A. muciniphila*'nın gelişimine katkıda bulunmaktadır (Zhou, 2017).

Yüksek yağlı beslenen diyetle indüklenen obez (DIO) ve insülin direncine sahip fareler ile yapılan bir çalışmada, farelere *Lactobacillus rhamnosus* LMG S-28148 ve *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* LMG P-28149 suşlarının her birinden 14 hafta boyunca 5×10^8 kob olacak şekilde takviye edilmiştir. Çalışma sonucunda, KZYA üretimi sayesinde dışkı içeriğinde *A. muciniphila* yoğunluğunun yaklaşık 100 kat arttığı ve insülin direncinin iyileştiği belirtilmektedir. Bu çalışmada ayrıca, vücut ağırlığı artışı ile *A. muciniphila* yoğunluğu arasında ters korelasyon olduğu gösterilmektedir (Alard ve ark., 2016). Kong, Gao, Yan, Huang ve Qin, (2018) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, yüksek yağlı ve yüksek şekerli diyet uygulanan farelerde azalan *A. muciniphila* sayısının, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium longum* ve *Enterococcus faecalis* (1:1:1) oranındaki karışımın 2.0×10^7 kob/gün doz olarak uygulanması ile yeniden arttığı gösterilmiştir.

Everard ve ark., (2013) tarafından, obezite ve Tip 2 diyabetin *A. muciniphila* arasında ilişki ile ilgili yaptıkları çalışmada, prebiyotik takviyesinin de etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla DIO farelere 8 hafta boyunca % 60 yağ içeren yüksek yağlı diyet uygulanmıştır. Bunun sonucunda dışkıdaki *A. muciniphila* sayısında 100 kat azalma (başlangıçta 10^9 /g dışkı iken, 10^7 /g dışkı seviyesine düşüş) olmuştur. Bu çalışmada günlük 0.3 g FOS takviyesinin azalan *A. muciniphila* yoğunluğunu 10^9 /g dışkıya yükselttiği kanıtlanmıştır. Aynı çalışmada FOS takviyesinin leptin yetersizliği olan farelerde daha etkili olduğu belirtilmiştir. Leptin yetersizliği olan bu farelerde 5 hafta boyunca 0.3 g / gün FOS takviyesi *A. muciniphila* 1000 kat arttırdığı (10^2 /g dışkıdan 10^{10} /g dışkıya) gösterilmiştir.

Prebiyotik takviyesinin, yeni doğmuş erkek Sprague-Dawley ratlar üzerinde kilo alımı üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmada, ratlara 16 hafta boyunca % 10'luk kısmı oligofruktozdan oluşan bir diyet uygulanmıştır. Oligofruktoz takviyesinin besin alımını ve vücut ağırlığını etkilemeden, *A. muciniphila* yoğunluğunu artırdığı saptanmıştır (Reid, Eller, Nettleton ve Reimer, 2016). Farelerde yapılan bazı çalışmalarda FOS takviyesinin, serum LPS seviyesini önemli ölçüde azalttığı (% 50'nin üzerinde) ve glisemik kontrolde belirgin bir iyileşme sağladığı kanıtlanmaktadır (Everard ve ark., 2011, 2013). FOS dışındaki inülin, glukan, galaktooligosakkarit gibi prebiyotik takviyelerinin *A. muciniphila* gelişiminde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmektedir. Bu da FOS'un *A. muciniphila* tarafından tercih edilen bir besin olabileceğini düşündürmektedir (Zhou, 2017).

4.2. Diyet Polifenol Takviyesi

Diyet polifenoller doğal antioksidanlar olup, aynı zamanda güçlü antimikrobiyal aktiviteye de sahiptir (Daglia, 2012; Parkar, Stevenson ve Skinner, 2008). Diyet polifenollerinin antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesi bağırsak mikrobiyotasını yeniden düzenleyebilmektedir. Çünkü *A. muciniphila* gibi birçok bağırsak bakterisi, serbest oksijen radikallerinin etkisi altında son derece savunmasız olan zorunlu anaeroblardır (Daglia, 2012). Diyet antioksidanları, serbest oksijenleri bağlayarak anaerob bakteriler için ortam hazırlayarak, bu bakterileri korumaya ve bağırsak mikrobiyotalarını değiştirmeye yardımcı olmaktadır (Roopchand, Carmody, Kuhn ve Moskal, 2015). Nitekim Kemperman ve ark., (2013) yaptığı çalışma, kompleks polifenol karışımları içeren siyah çayın ve kırmızı şaraplık üzüm özütünün, bağırsağın mikrobiyal ekosisteminde *A. muciniphila*'nın büyümesini önemli ölçüde desteklediğini göstermektedir.

Besin polifenollerinin bağırsaktaki *A. muciniphila*'nın büyümesi üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarda tutarsız sonuçlara rastlanmaktadır. Bu çalışmalardan birinde, yüksek yağlı beslenmiş diyetle indüklenen obez farelere Concord üzüm polifenollerini takviye edildiğinde *A. muciniphila* yoğunluğunun % 6.2' den % 49.1' e yükseldiği belirtilmektedir (Roopchand ve ark., 2015). Diğer bir çalışmada kızılçık özütü oluşan takviyenin, dışkıda *A. muciniphila* yoğunluğunu % 2' den % 30'a yükselttiği bildirilmektedir (Kemperman ve ark., 2013). Buna karşın bazı çalışmalar, nar ekşisi, yeşil çay ekstresi ve bütün haldeki Kaliforniya sofralık üzüm takviyesinin ise sağlıklı insanların veya DIO farelerinin *A. muciniphila* yoğunluğu üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını göstermektedir. Bu tutarsız sonuçlar, diyet polifenollerin *A. muciniphila* üzerine etkilerinin kimyasal yapıları ve kaynaklarına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Yeşil çay polifenollerinin, *Akkermansia* yoğunluğu üzerinde herhangi bir etkisi belirlenemez iken, yüksek yağlı beslenen obez farelerde vücut ağırlığı artışının ve diğer metabolik sorunların etkisini azalttığı bildirilmektedir (Anhê ve ark., 2015; Axling ve ark., 2012). Ayrıca nar ekstraktları, dışkıdaki *A. muciniphila* yoğunluğunu değiştirmemesine rağmen, bu bakterinin nar metaboliti olan

ürolitini üretebilen deneklerin dışkı örneklerinde, üretemeyenlere kıyasla 33-47 kat daha fazla bulunduğu belirtilmektedir. Bu durum, *A. muciniphila*'nın, bağırsaktaki fenolik bileşiklerin parçalanmasında önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir (Baldwin ve ark., 2017).

4.3. FODMAP Takviyesi

"FODMAP", fermente olabilen fruktoz, laktoz, oligo-, di- ve monosakkaritler ile polioller (sorbitol, mannitol, ksilitol ve maltitol) ifade etmektedir. Bu yapılar, ince bağırsakta yetersiz emildikleri ve diyet lifleri ile karşılaştırıldığında kısa zincirli doğaları gereği kolondaki bakteriler tarafından daha hızlı fermente edilmektedir (Gibson ve Shepherd, 2005). FODMAP'ın *A. muciniphila* yoğunluğu üzerine etkilerinin incelendiği araştırma sayısı son derece az olmakla birlikte, insanlar üzerinde yapılan çalışmalar diyetdeki FODMAP içeriği ile *A. muciniphila* sayısı arasında pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır (Halmos ve ark., 2015, 2016).

4.4. Yüksek Yağlı Beslenme ve Alkol Tüketimi

Yapılan çalışmalar, yüksek yağlı diyetin, farklı hayvan modellerinde *A. muciniphila* yoğunluğunu önemli ölçüde azalttığını göstermektedir (Anhê ve ark., 2015; Axling ve ark., 2012; Chan, Estaki ve Gibson, 2013; Li ve ark., 2015). DIO farelerinde 8 hafta boyunca yüksek yağlı diyet (% 60 yağ) uygulaması, *A. muciniphila*'nın 100 kat azalmasına neden olmaktadır (Chan ve ark., 2013). Alkol alımı da *A. muciniphila*'yı olumsuz etkilemektedir. Nitekim DIO farelerde alkol uygulaması (% 30 w/v, 6 g/kg vücut ağırlığı), *A. muciniphila*'nın fekal mikrobiyota içerisindeki nispi bolluğunu 100 kat azalmasına yol açmaktadır (Neyrinck ve ark., 2017).

4.5. Metformin Tedavisi

Metformin, Tip 2 DM tedavisi için kullanılan primer ilaçtır. Hayvanlar ile yapılan çalışmalar, metforminin bağırsak mikrobiyotasını modüle edebildiğini ve bu işlevin anti-enflamatuar, anti-obezite ve glikoz metabolizması üzerindeki terapötik özelliği ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Napolitano ve ark., 2014; Nauck, Frid, Hermansen ve Shah, 2009). Tüm hayvan çalışmaları, metforminin *A. muciniphila* yoğunluğunu önemli ölçüde desteklediğini göstermektedir.

Shin ve ark., (2014) yaptıkları çalışmada, yüksek yağ ile beslenen DIO farelere 300 mg/vücut ağırlığı oranında metformin tedavisi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda yüksek yağlı beslenme sonucunda azalan *Akkermansia* yoğunluğunun arttırdığı belirtilmektedir. Ayrıca glisemik kontrolde iyileşme sağlandığı ve serum LPS' de azalma olduğu gösterilmiştir. Zhou ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada yüksek yağ ile beslenen farelere 100 mg/vücut ağırlığı/gün metformin tedavisi uygulanmıştır. Tedavi sonucunda *Akkermansia* yoğunluğu yeniden düzenlenmiştir. Bir başka çalışmada, yine yüksek yağ diyeti uygulanan DIO fareler 300 mg/vücut ağırlığı şeklinde metformin ile tedavi edilmiştir. Sonuç olarak, *Akkermansia* yoğunluğunun dışkıda %0.7' den %12.4' ye yükseldiği ve metabolik profilin iyileştiği belirtilmektedir (Lee ve Ko, 2014). Bu çalışmalarda en önemli bulgulardan biri de, metformin tedavisi öncesinde yüksek yağlı beslenen fareler üzerinde bir antibiyotik kombinasyonu uygulanmasının, metformin aktivitesini yükseltmesidir. Metformin tedavisi, münis üreten goblet hücrelerinin sayısını dolayısıyla da *A. muciniphila* yoğunluğunu arttırmaktadır (Everard ve ark., 2013). Bu bulgular metforminin antidiyabetik aktivitesinin, bağırsak mikrobiyotasının düzenlenmesinde ki etkisini, özellikle *A. muciniphila* artışına ve serum LPS seviyelerinde azalmaya neden olduğunu, bunun sonucunda da inflamasyonu ve metabolik bozuklukları azalttığı hipotezini ortaya koymaktadır (Zhou, 2017).

4.6. Antibiyotik tedavisi

Antibiyotik tedavileri genellikle bağırsakların bakteri çeşitliliğinde önemli değişimlere neden olmaktadır. Antibiyotiklerin kimyasal yapısı, tedavi süresi ve dozu ile mikrobiyotadaki bakterilerin direnç seviyesi bu değişikliklerin boyutunu etkilemektedir (Manichanh ve ark., 2013; Hooper ve Gordon, 2001). Fareler ve insanlar üzerinde yapılan çalışmalar antibiyotik tedavisinin, bağırsaktaki *A. muciniphila* gelişimini nispi olarak desteklediğini ortaya koymaktadır. Gram-pozitif bakterilere karşı kullanılan bir glikopeptid antibiyotik olan vankomisin, obez almayan (NOD) farelerde immün homeostazi ve diyabetik semptomların gelişimi üzerine etkilerininin araştırıldığı bir çalışmada *Verrucomicrobia* sayısını baskılayan *Firmicutes* ve *Bacteroidetes* sayısında önemli ölçüde azalmaya neden olduğu belirtilmektedir (Hansen ve ark., 2012). Diğer bir çalışmada ise geniş spektrumlu antibiyotik tedavisinin *A. muciniphila* üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla bir özofagus komplikasyonu olan *Coxiella burnetii* enfeksiyonu geçiren hasta deneklere doksisisiklin (400 mg/gün), hidrosiklorokin (600 mg/gün), piperasilin/tazobaktam (12 g/gün) ve teikoplanin (600 mg/gün) tedavisi uygulanmıştır. Tedavi sonucunda dışkıdaki toplam bağırsak mikrobiyotasının % 40' ının *A. muciniphila* olduğu saptanmıştır (Dubourg ve ark., 2013). İn vitro antibiyotik duyarlılık testleri, *A. muciniphila*'nın imipenem, piperasilin/tazobaktam ve doksisisiklin gibi bazı antibiyotiklere duyarlı iken vankomisin, metronidazol ve penisilin G' ye karşı ise dirençli olduğunu ortaya koymaktadır (Pérez-Cobas ve ark., 2012).

4. Sonuç

Gastrointestinal mikrofloranın obezite ve diyabetes mellitus hastalıkları ile ilişkisi olduğunu gösteren veriler dikkate alındığında, bağırsak mikrobiyotasındaki yararlı bakterilerin bu hastalıkların tedavisinde kullanılması uygun bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Hayvanlarda ve insanlarda yapılan klinik çalışmalar bağırsak mikrobiyotasının önemli üyelerinden olan *Akkermansia muciniphila*'nın diyabet ve obezite ile negatif ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Gıdaların polifenol, probiyotik ve prebiyotik içeriği, insanların beslenme alışkanlıkları, metformin ve antibiyotik tedavisi *Akkermansia* üzerinde etkili faktörlerdir. Bazı polifenoller, *Akkermansia* gelişiminde olumlu etki gösterirken; bazıları herhangi bir etki göstermemektedir. Yüksek yağlı beslenme, alkol tüketimi *Akkermansia* sayısını azaltırken; probiyotik ve prebiyotik takviyesi ile metformin kullanımı *Akkermansia* sayısında artışa neden olmaktadır. Antibiyotik tedavisi ise bağırsak florasında değişime neden olarak, *Akkermansia* sayısını nispi olarak çoğaltmaktadır.

Sonuç olarak, farklı diyetlerin bağırsaktaki *Akkermansia* sayısı üzerine olan etkilerinin yanı sıra *A. muciniphila*'nın diyabet ve obezite ile ilişkisini açıklayan mekanizmaların net olarak aydınlatılacağı çalışmalara gereksinim duyulmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda *Akkermansia muciniphila* takviyesinin obezite ve diyabet tedavisinde ve/veya önlenmesinde alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Alard, J., Lehrter, V., Rhimi, M., Mangin, I., Peucelle, V., Abraham, A. L., & Grangette, C. (2016). Beneficial metabolic effects of selected probiotics on diet-induced obesity and insulin resistance in mice are associated with improvement of dysbiotic gut microbiota. *Environmental Microbiology*, 18(5), 1484–1497. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13181>
- Altunkaynak, B. Z., & Özbek, E. (2006). Obezite: Nedenleri ve tedavi seçenekleri. *Van Tıp Dergisi*, 13(4), 138–142.
- Altuntaş, Y., & Batman, A., (2017). Mikrobiyota ve metabolik sendrom. *Türk Kardiyoloji Derneği Arşivi* 45(3), 286-296. <https://dx.doi.org/10.5543/tkda.2016.72461>
- American Diabetes Association. (2014). Diagnosis and classification of autoimmune diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 37(1), 81–90. <https://doi.org/10.2337/dc14-S081>
- Anhê, F.F., Roy, D., Pilon, G., Dudonné, S., Matamoros, S., Varin, T.V., Garofalo, C., Moine, Q., Desjardins, Y., Levy, E., & Marette, A.(2015). A polyphenol-rich cranberry extract protects from diet-induced obesity, insulin resistance and intestinal inflammation in association with increased *Akkermansia* spp. population in the gut microbiota of mice. *Gut*, 64(6), 872–883. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307142>
- Axling, U., Olsson, C., Xu, J., Fernandez, C., Larsson, S., Ström, K., Ahrné, S., Holm, C., Molin, G., & Berger, K. (2012). Green tea powder and *Lactobacillus plantarum* affect gut microbiota, lipid metabolism and inflammation in high-fat fed C57BL/6J mice. *Nutrition and Metabolism*, 9(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-105>
- Baggio, L. L., & Drucker, D. J. (2007). Biology of incretins: GLP-1 and GIP. *Gastroenterology*, 132(6), 2131–2157. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2007.03.054>
- Baldwin, J., Collins, B., Wolf, P. G., Martinez, K., Shen, W., Chuang, C. C., Zhong, W., Cooney, P., Cockrell, C., Chang, E., Gaskins H. R., McIntosh, M. K. (2017). Table grape consumption reduces adiposity and markers of hepatic lipogenesis and alters gut microbiota in butter fat-fed mice. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 27, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.08.027>
- Bayly, G. R. (2014). Lipids and disorders of lipoprotein metabolism. William J. Marshall, Marta Lapsley, Andrew P. Day & Ruth M. Ayling (Ed.), In *Clinical Biochemistry: Metabolic and Clinical Aspects* (s. 702-736) içinde. Churchill Livingstone
- Belzer, C., & De Vos, W. M. (2012). Microbes inside from diversity to function: The case of *Akkermansia*. *ISME Journal*, 6(8), 1449–1458. <https://doi.org/10.1038/ismej.2012.6>
- Blandino, G., Inturri, R., Lazzara, F., DiRosa, M., & Malaguarnera, L. (2016). Impact of gut microbiota on diabetes mellitus. *Diabetes and Metabolism*, 42(5), 303–315. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2016.04.004>
- Brahe, L. K., Le Chatelier, E., Prifti, E., Pons, N., Kennedy, S., Hansen, T., Pedersen, O., Astrup, A., Ehrlich, S.D., & Larsen, L. H. (2015). Specific gut microbiota features and metabolic markers in postmenopausal women with obesity. *Nutrition and Diabetes*, 5(6), e159-7.
- Candela, M., Biagi, E., Turrone, S., Maccaferri, S., Figini, P., & Brigidi, P. (2015). Dynamic efficiency of the human intestinal microbiota. *Critical Reviews in Microbiology*, 41(2), 165–171. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2013.813900>
- Cani, P. D., Knauf, C., Iglesias, M. A., Drucker, D. J., Delzenne, N. M., & Burcelin, R. (2006). Improvement of glucose tolerance and hepatic insulin sensitivity by oligofructose requires a functional glucagon-like peptide 1 receptor. *Diabetes*, 55(5), 1484–1490. <https://doi.org/10.2337/db05-1360>
- Ceyhan, N., & Alıç, H. (2012). Bağırsak mikroflorası ve probiyotikler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 5(1): 107-113.
- Clarke, S.F., Murphy, E.F., O'Sullivan, O., Lucey, A.J., Humphreys, M., Hogan, A., Hayes, P., O'Reilly, M., Jeffery, I.B., Wood-Martin, R., Kerins, D.M., Quigley, E., Ross, R.P., O'Toole, P.W., Molloy, M.G., Falvey, E., Shanahan, F., & Cotter, P.D. (2014). Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. *Gut*, 63(12), 1913–1920. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306541>
- Chan, Y. K., Estaki, M., & Gibson, D. L. (2013). Clinical consequences of diet-induced dysbiosis. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 63(2), 28–40. <https://doi.org/10.1159/000354902>
- Choque Delgado, G. T., & Tamashiro, W. M. da S. C. (2018). Role of prebiotics in regulation of microbiota and prevention of obesity. *Food Research International*, 113(April), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.013>
- Collado, M. C., Derrien, M., Isolauri, E., De Vos, W. M., & Salminen, S. (2007). Intestinal integrity and *Akkermansia muciniphila*, a mucin-degrading member of the intestinal microbiota present in infants, adults, and the elderly. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(23), 7767–7770. <https://doi.org/10.1128/AEM.01477-07>
- Collado, M. C., Isolauri, E., Laitinen, K., & Salminen, S. (2008). Distinct composition of gut microbiota during pregnancy in overweight and normal-weight women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 88, 894–899. <https://doi.org/10.1093/ajcn/88.4.894>
- Collado, M. C., Isolauri, E., Laitinen, K., & Salminen, S. (2010). Effect of mother's weight on infant's microbiota acquisition, composition, and activity during early in fancy: a prospective. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 92, 1023-1030. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29877>
- Conlon, M. A., & Bird, A. R. (2015). The impact of diet and lifestyle on gut microbiota and human health. *Nutrients*, 7(1), 17–44. <https://doi.org/10.3390/nu7010017>
- Çolak, R. (2012). Tip 2 diabetes mellitus tedavisinde inkretinler. *Deneyisel ve Klinik Tıp Dergisi* 29: 30-38. <https://doi.org/10.5835/jcem.omu.29.s1.007>

- Daglia, M. (2012). Polyphenols as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.007>
- Dao, M.C., Everard, A., Aron-Wisniewsky, J., Sokolowska, N., Prifti, E., Verger, E.O., Kayser, B.D., Levenez, F., Chilloux, J., Hoyles, L., Dumas, M.E., Rizkalla, S.W., Doré, J., Cani, P.D., & Clément, K. (2015). *Akkermansia muciniphila* and improved metabolic health during a dietary intervention in obesity: Relationship with gut microbiome richness and ecology. *Gut*, 65(3), 426–436. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-308778>
- Derrien, M., Vaughan, E. E., Plugge, C. M., & De Vos, W. M. (2004). *Akkermansia muciniphila* gen. nov., sp. nov., a human intestinal mucin-degrading bacterium. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(5), 1469–1476. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02873-0>
- Derrien, M., Collado, M.C., Ben-Amor, K., Salminen, S., & De Vos, W.M. (2008). The mucin degrader *Akkermansia muciniphila* is an abundant resident of the human intestinal tract. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(5), 1646–1648. <https://doi.org/10.1128/aem.01226-07>
- Derrien, M., Passel, M. W. J. Van, Bovenkamp, J. H. B. Van De, Schipper, R. G., De Vos, W. M., & Dekker, J. (2010). Structural mucin of intestinal mucus in human and mouse. *Gut Microbes* 1(4), 254–268.
- Derrien, M., Van Baaren, P., Hooiveld, G., Norin, E., Müller, M., & De Vos, W. M. (2011). Modulation of mucosal immune response, tolerance, and proliferation in mice colonized by the mucin-degrader *Akkermansia muciniphila*. *Frontiers in Microbiology*, 2, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00166>
- Dubourg, G., Lagier, J. C., Armougom, F., Robert, C., Audoly, G., Papazian, L., & Raoult, D. (2013). High-level colonisation of the human gut by *Verrucomicrobia* following broad-spectrum antibiotic treatment. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 41(2), 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2012.10.012>
- Escobar, J. S., Klotz, B., Valdes, B. E., & Agudelo, G. M. (2015). The gut microbiota of Colombians differs from that of Americans, Europeans and Asians. *BMC Microbiology*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12866-014-0311-6>
- Everard, A., Lazarevic, V., Derrien, M., Girard, M., Muccioli, G. G., Neyrinck, A. M., Possemiers, S., Holle, A.V., François, P., De Vos, W.M., Delzenne, N.M., Schrenzel, Jacques., & Cani, P. D. (2011). Responses of gut microbiota and glucose and lipid metabolism to prebiotics in genetic obese and diet-induced leptin-resistant mice. *Diabetes*, 60(11), 2775–2786. <https://doi.org/10.2337/db11-0227>
- Everard, A., & Cani, P. D. (2013). Diabetes, obesity and gut microbiota. *Best Practice and Research: Clinical Gastroenterology*, 27(1), 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2013.03.007>
- Everard, A., Belzer, C., Geurts, L., Ouwerkerk, J.P., Druart C., Bindels, L.B., Guiot, Y., Derrien, M., Muccioli, G.G., Delzenne, N.M., De Vos, W.M., & Cani, P.D. (2013). Cross-talk between *Akkermansia muciniphila* and intestinal epithelium controls diet-induced obesity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(22), 9066–9071. <https://doi.org/10.1073/pnas.1219451110>
- Fabersani, E., Russo, M., Marquez, A., Abeijón-Mukdsi, C., Medina, R., & Gauffin-Cano, P. (2018). Modulation of intestinal microbiota and immuno metabolic parameters by caloric restriction and lactic acid bacteria. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.014>
- Federico, A., Dallio, M., Di Sarno, R., Giorgio, V., & Miele, L. (2017). Gut microbiota, obesity and metabolic disorders. *Minerva Gastroenterologica E Dietologica*, 63(4), 337-344. <https://doi.org/10.23736/S1121-421X.17.02376-5>
- García-Peña, C., Álvarez-Cisneros, T., Quiroz-Baez, R., & Friedland, R. P. (2017). Microbiota and Aging. A Review and Commentary. *Archives of Medical Research*, 48(8), 681–689. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2017.11.005>
- Gibson, P. R., & Shepherd, S. J. (2005). Personal view: Food for thought-western lifestyle and susceptibility to Crohn's disease. The FODMAP hypothesis. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 21(12), 1399–1409. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2005.02506.x>
- Goossens, D., Jonkers, D., Stobberingh, E., van den Bogaard, A., Russel, M., & Stockbrügger, R. (2003). Probiotics in gastroenterology: Indications and future perspectives. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 23, 15–23.
- Goto, T., Edén, S., Nordenstam, G., Sundh, V., Svanborg-Edén, C., & Mattsby, B.I. (1994). Endotoxin levels in sera of elderly individuals. *Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology*, 1(6), 684–688.
- Guarner, F., & Malagelada, J.R. (2003). Gut flora in health and disease. *Lancet*, 361(9356), 512–519. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)12489-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)12489-0)
- Guarner, F., Sanders, M.E., Eliakim, R., Fedorak, R., Gangl, A., Garisch, J., Kaufmann, P., Karakan, T., Khan A.G., Kim, N., Andrés De Paula, J., Ramakrishna, B., Shanahan, F., Szajewska, Hania., Thomson, A., & Le Mair, A. (2017). Probiotics and prebiotics. *World Gastroenterology Organisation Global Guidelines*.
- Halmos, E. P., Christophersen, C. T., Bird, A. R., Shepherd, S. J., Gibson, P. R., & Muir, J. G. (2015). Diets that differ in their FODMAP content alter the colonic luminal micro environment. *Gut*, 64(1), 93–100. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307264>
- Halmos, E. P., Christophersen, C. T., Bird, A. R., Shepherd, S. J., Muir, J. G., & Gibson, P. R. (2016). Consistent prebiotic effect on gut microbiota with altered FODMAP intake in patients with Crohn's disease: A randomised, controlled cross-over trial of well-defined diets. *Clinical and Translational Gastroenterology*, 7(4), e164. <https://doi.org/10.1038/ctg.2016.22>
- Han, J. L., & Lin, H. L. (2014). Intestinal microbiota and type 2 diabetes: From mechanism insight to therapeutic perspective. *World Journal of Gastroenterology*, 20(47), 17737–17745. <https://doi.org/10.3748/wjg.v20.i47.17737>
- Hansen, C. H., Krych, L., Nielsen, D.S., Vogensen, F.K., Hansen, L.H., Sørensen, S.J., Buschard, K., & Hansen, A.K. (2012). Early life treatment with vancomycin propagates *Akkermansia muciniphila* and reduces diabetes incidence in the NOD mouse. *Diabetologia*, 55(8), 2285–2294. <https://doi.org/10.1007/s00125-012-2564-7>
- Haque, T. R., & Barritt, A. S. (2016). Intestinal microbiota in liver disease. *Best Practice and Research: Clinical Gastroenterology*, 30(1), 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2016.02.004>
- Hooper, L. V., & Gordon, J. I. (2001). Commensal host-bacterial relationships in the gut. *Science*, 292(5519), 1115–1118.

- Kahn, S. E., Hull, R. L., & Utzschneider, K. M. (2006). Mechanisms linking obesity to insulin resistance and type 2 diabetes. *Nature*, 444(712), 840. <https://doi.org/10.1038/nature05482>
- Kanengoni, A. T., Chimonyo, M., Tasara, T., Cormican, P., Chapwanya, A., Ndimba, B. K., & Dzama, K. (2015). A comparison of faecal microbial populations of South African Windsnyer-type indigenous pigs (SAWIPs) and Large White × Landrace (LW × LR) crosses fed diets containing ensiled maize cobs. *FEMS Microbiology Letters*, 362(13), fnv100. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnv100>
- Karlsson, C. L. J., Önerfält, J., Xu, J., Molin, G., Ahrné, S., & Thorngren-Jerneck, K. (2012). The microbiota of the gut in preschool children with normal and excessive body weight. *Obesity*, 20(11), 2257–2261. <https://doi.org/10.1038/oby.2012.110>
- Kemperman, R. A., Gross, G., Mondot, S., Possemiers, S., Marzorati, M., Van de Wiele, T., Doré, J., & Vaughan, E. E. (2013). Impact of polyphenols from black tea and red wine/grape juice on a gut model microbiome. *Food Research International*, 53(2), 659–669. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.034>
- Koçak, T., Şanlıer, N. (2017). Mikrobelerin öğeleri ve mikrobiyota etkileşimi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(4), 290-302.
- Kong, C., Gao, R., Yan, X., Huang, L., & Qin, H. (2018). Probiotics improve gut microbiota dysbiosis in obese mice fed a high-fat or high-sucrose diet. *Nutrition*, 60, 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.10.002>
- Koenig, J. E., Spor, A., Scalfone, N., Fricker, A. D., Stombaugh, J., Knight, R., Angenent, L.T., & Ley, R. E. (2011). Succession of microbial consortia in the developing infant gut microbiome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(1), 4578–4585. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000081107>
- Koçulu, S. (1996). Diabetes Mellitus. Endokrinoloji, Temel ve Klinik. Koloğlu S. (ed), Medical Network & Nobel, Birinci Baskı, (s.368-385) içinde. Ankara.
- Kuzu, F. (2017). Bağırsak mikrobiyotasının obezite, insülin direnci ve diyabetteki rolü. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 1, 68-80.
- Lee, H., & Ko, G. (2014). Effect of metformin on metabolic improvement and gut microbiota. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(19), 5935–5943. <https://doi.org/10.1128/aem.01357-14>
- Lee, Y. K., & Mazmanian, S. K. (2010). Has the microbiota played a critical role in the evolution of the adaptive immune system? *Science*, 330(6012), 1768–1773. <https://doi.org/10.1126/science.1195568>
- Li, J., Lin, S., Vanhoutte, P.M., Woo, C.W., & Xu, A. (2016). *Akkermansia muciniphila* protects against atherosclerosis by preventing metabolic endotoxemia-induced inflammation in Apoe^{-/-} Mice. *Circulation* 133(24), 2434-2446. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.115.019645>
- Li, Z., Henning, S. M., Lee, R.-P., Lu, Q.-Y., Summanen, P. H., Thames, G., Corbett, K., Downes, J., Tseng, C.H., Finegold, S. M., & Heber, D. (2015). Pomegranate extract induces ellagitannin metabolite formation and changes stool microbiota in healthy volunteers. *Food & Function*, 6(8), 2487–2495. <https://doi.org/10.1039/c5fo00669d>
- Liu, X., Fan, H., Ding, X., Hong, Z., Nei, Y., Liu, Z., Li, G., & Guo, H. (2014). Analysis of the gut microbiota by high-throughput sequencing of the V5–Vv6 regions of the 16s rRNA gene in donkey. *Current Microbiology*, 68(5), 657–662. <https://doi.org/10.1007/s00284-014-0528-5>
- Mackowiak, P.A. (1982). The normal microbial flora. *New England Journal of Medicine*, 307(2),83-93. <https://doi.org/10.1056/NEJM198207083070203>
- Manichanh, C., Reeder, J., Gibert, P., Varela, E., Llopis, M., Antolin, M., Guigo, R., Knight, R., & Guarner, F. (2010). Reshaping the gut microbiome with bacterial transplantation and antibiotic intake. *Genome Research*, 20(10), 1411–1419. <https://doi.org/10.1101/gr.107987.110>
- McLaughlin, T., Abbasi, F., Carantoni, M., Schaaf, P., & Reaven, G. (1999). Differences in insulin resistance do not predict weight loss in response to hypocaloric diets in healthy obese women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 84(2): 578-581. <https://doi.org/10.1210/jcem.84.2.5441>
- McLaughlin, T. L., & Reaven, G. M. (2003). Beyond type 2 diabetes: The need for a clinically useful way to identify insulin resistance. *The American Journal of Medicine*, 114(6), 501–502. [https://doi.org/10.1016/s0002-9343\(03\)00122-0](https://doi.org/10.1016/s0002-9343(03)00122-0)
- Napolitano, A., Miller, S., Nicholls, A. W., Baker, D., Van Horn, S., Thomas, E., Rajpal, D., Spivak, A., Brown, J.R., & Nunez, D. J. (2014). Novel gut-based pharmacology of metformin in patients with type 2 diabetes mellitus. *PLoS ONE*, 9(7), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100778>
- Nauck, M., Frid, A., Hermansen, K., Shah, N. S., Tankova, T., Mitha, I. H., Matthews, D. R., & for the LEAD-2 Study Group (2009). Efficacy and safety comparison of liraglutide, glimepiride, and placebo, all in combination the LEAD (Liraglutide Effect and Action in Diabetes) - LEAD 2 study. *Diabetes Care*, 32(1), 84-90. <https://doi.org/10.2337/dc08-1355.Clinical>
- Neyrinck, A. M., Etxeberria, U., Tamini, B., Daube, G., Van Hul, M., Everard, A., Cani, P.D., Bindels L. B., & Delzenne, N. M. (2017). Rhubarb extract prevents hepatic inflammation induced by acute alcohol intake, an effect related to the modulation of the gut microbiota. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(1), 1–12. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201500899>
- Onkamo, P., Väänänen, S., Karvonen, M., & Tuomilehto, J. (1999). Worldwide increase in incidence of type I diabetes - The analysis of the data on published incidence trends. *Diabetologia*, 42(12), 1395–1403. <https://doi.org/10.1007/s001250051309>
- Org, E., Parks, B.W., Joo, J.W., Emert, B., Schwartzman, W., Kang, E.Y., Mehrabian, M., Pan, C., Knight, R., Gunsalus, R., Drake, T.A., Eskin, E., & Lusis A.J. (2015). Genetic and environmental control of host-gut microbiota interactions. *Genome Research*, 25(10), 1558–1569. <https://doi.org/10.1101/gr.194118.115>
- Ottman, N., Geerlings, S. Y., Aalvink, S., De Vos, W. M., & Belzer, C. (2017). The discovery of *Akkermansia muciniphila* has opened new avenues for the use of this. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2017.10.001>
- Overton, H.A., Babbs, A.J., Doel, S.M., Fyfe, M.C., Gardner, L.S., Griffin, G., Jackson, H.C., Procter, M.J., Rasamison, C.M., Tang-Christensen, M., Widdowson, P.S., Williams, G.M., & Reynet, C.(2006). Deorphanization of a G protein-coupled receptor for

- oleoylethanolamide and its use in the discovery of small-molecule hypophagic agents. *Cell Metabolism*, 3(3), 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2006.02.004>
- Overton, H.A., Fyfe, M.C., & Reynet, C. (2008). GPR119, a novel G protein-coupled receptor target for the treatment of type 2 diabetes and obesity. *British Journal of Pharmacology* 153 (1), 76-81. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0707529>
- Özden, A. (2006). Sağlıklı Yaşam İçin Yararlı Dost Bakteriler. Türk Gastroentoloji Vakfı Yayınları, Ankara.
- Özyurt, V. H. & Ötles, S.(2014). Properties of probiotics and encapsulated probiotics in food. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 13(4), 413-424. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2014.4.8>
- Parkar, S. G., Stevenson, D. E., & Skinner, M. A. (2008). The potential influence of fruit polyphenols on colonic microflora and human gut health. *International Journal of Food Microbiology*, 124(3), 295–298. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.03.017>
- Pérez-Cobas, A. E., Gosalbes, M. J., Friedrichs, A., Knecht, H., Artacho, A., Eismann, K., Otto, W., Rojo, D., Bargiela, R., von Bergen, M., Neulinger, S.C., Däumer, C., Heinsen, F.A., Latorre, A., Barbas, C., Seifert, J., dos Santos, V.M., Ott, S.J., Ferrer, M., & Moya, A.. (2014). Gut microbiota disturbance during antibiotic therapy: A multi-omic approach. *Gut Microbes*, 5(1), 64–70. <https://doi.org/10.4161/gmic.27128>
- Reid, G., Younes, J. A., Van Der Mei, H. C., Gloor, G. B., Knight, R., & Busscher, H. J. (2011). Microbiota restoration: Natural and supplemented recovery of human microbial communities. *Nature Reviews Microbiology*, 9(1), 27–38. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2473>
- Reid, D. T., Eller, L. K., Nettleton, J. E., & Reimer, R. A. (2016). Postnatal prebiotic fibre intake mitigates some detrimental metabolic outcomes of early overnutrition in rats. *European Journal of Nutrition*, 55(8), 2399–2409. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-1047-2>
- Roberfroid, M., Gibson, G., Hoyles, L., McCartney, A., Rastall, R., Rowland, I., Wolvers, D., Watzl, B., Szajewska, H., Stahl, B., Guarner, F., Respondek, F., Whelan, K., Coxam, V., Davicco, M.J., Léotoing, L., Wittrant, Y., Delzenne, N.M., Cani, P.D., & Ne, A. (2010). Prebiotic effects: Metabolic and health benefits. *British Journal of Nutrition*, 104(2), 1–63. <https://doi.org/10.1038/159869b0>
- Rodes, L., Khan, A., Paul, A., Coussa, C. M., Marinescu, D., Tomaro D. C., Shao,W., Kahouli, I., & Prakash, S. (2013). Effect of probiotics *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* on gut-derived lipopolysaccharides and inflammatory cytokines: an in vitro study using a human colonic microbiota model. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(4), 518–526.
- Roopchand, D. E., Carmody, R. N., Kuhn, P., Moskal, K., Rojas-Silva, P., Turnbaugh, P. J., & Raskin, I. (2015). Dietary polyphenols promote growth of the gut bacterium *Akkermansia muciniphila* and attenuate high fat diet-induced metabolic syndrome. *Diabetes*, 64(8), 2847–2858.
- Santacruz, A., Collado, M., García-Valdés, L., Segura, M., Martín-Lagos, J., Anjos, T., Martí-Romero, M., Lopez, R.M., Florido, J., Campoy, C., & Sanz, Y. (2010). Gut microbiota composition is associated with body weight, weight gain and biochemical parameters in pregnant women. *British Journal of Nutrition*, 104(1), 83–92. <https://doi.org/10.1017/S0007114510000176>
- Schley, P. D., & Field C.J. (2003). The immune-enhancing effects of dietary fibres and prebiotics. *British Journal of Nutrition*, 87(6), 221–230. <https://doi.org/10.1079/bjnbn/2002541>
- Schwartz, A., Taras, D., Schäfer, K., Beijer, S., Bos, N. A., Donus, C., & Hardt, P. D. (2010). Microbiota and SCFA in lean and overweight healthy subjects. *Obesity*, 18(1), 190–195. <https://doi.org/10.1038/oby.2009.167>
- Shin, N. R., Lee, J. C., Lee, H. Y., Kim, M. S., Whon, T. W., Lee, M. S., & Bae, J. W. (2014). An increase in the *Akkermansia* spp. population induced by metformin treatment improves glucose homeostasis in diet-induced obese mice. *Gut*, 63(5), 727–735. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2012-303839>
- Tailford, L. E., Crost, E. H., Kavanaugh, D., & Juge, N. (2015). Mucin glycan foraging in the human gut microbiome. *Frontiers in Genetics*, 6(81). <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00081>
- Tannock, G. W., Munro, K., Harmsen, H. J. M., Welling, G. W., & Smart, J. (2000). Analysis of the fecal microflora of human subjects consuming a probiotic product containing *Lactobacillus rhamnosus* DR20. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(6), 2578–2588. <https://doi.org/10.1128/aem.66.6.2578-2588.2000>
- Tekin, T., Çiçek, B., & Konyalıgil, N. (2018). İntestinal mikrobiyota ve obezite ilişkisi. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 27, 95–99.
- Yetkin, İ., Satış, H., & Satış, N. K. (2017). Bağırsak mikrobiyotasının insülin direnci, diabetes mellitus ve obezite ile ilişkisi. *Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi*, 1: 1-8.
- Yılmaz, K., & Altındış, M. (2017). Sindirim sistemi mikrobiyotasi ve fekal transplantasyon. *Nobel Medicus*, 13(1), 9–15.
- Zhang, X., Shen, D., Fang, Z., Jie, Z., Qiu, X., Zhang, C., Chen, Y., & Ji, L. (2013). Human gut microbiota changes reveal the progression of glucose intolerance. *PLoS ONE*, 8(8), e71108. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071108>
- Zhou, Z. Y., Ren, L. W., Zhan, P., Yang, H. Y., Chai, D. D., & Yu, Z. W. (2016). Metformin exerts glucose-lowering action in high-fat fed mice via attenuating endotoxemia and enhancing insulin signaling. *Acta Pharmacologica Sinica*, 37(8), 1063–1075. <https://doi.org/10.1038/aps.2016.21>
- Zhou, K. (2017). Strategies to promote abundance of *Akkermansia muciniphila*, an emerging probiotics in the gut, evidence from dietary intervention studies. *Journal of Functional Foods*, 33, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.045>



Doum Palm Meyve Kabuklarından Aktif Karbon Üretimi ve Karakterizasyonu

Özkan Açıışlı^{1*}

¹Ataturk University, Faculty of Earth Sciences, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, 25400, Oltu, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4465-0916)

(İlk Geliş Tarihi 10 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 8 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.574830)

ATIF/REFERENCE: Açıışlı, Ö. (2019). Doum Palm Meyve Kabuklarından Aktif Karbon Üretimi ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 544-551.

Öz

Çok gelişmiş bir iç yüzey alanına ve gözenekli yapıya sahip olan aktif karbon, organik ve inorganik maddeleri adsorplaması kapasitesi nedeniyle endüstrinin geniş bir alanında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Doum Palm (DP) meyve kabukları, 10 saat $ZnCl_2$ ile aktive edildi ve aktive karbon elde etmek için 2 saat boyunca $900^\circ C$ 'de karbonizasyona maruz bırakıldı. Aktif karbonun karakter analizi X-ışını difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDX), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), Brunauer-Emmett-Teller (BET) ve Termal Gravimetrik Analiz (TGA) ile incelenmiştir. Çalışmada, aktif karbonun yüzey alanı ham numune için $84.629 m^2 / g$ ve aktif karbon için $433.192 m^2 / g$ olarak belirlenmiştir. Aktive edilmiş numunelerin gözenekliliğindeki artış, gözenek boyut dağılımından ve SEM görüntülerinden açıkça anlaşılmaktadır. Termal gravimetrik analiz sonuçları, ham numunenin bozulmasının iki aşamada gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca, EDX analizi sonucunda aktif karbonun yapısındaki çinko elementi, aktivasyon işleminin başarıyla gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Aktif karbon, Doum palm meyvesi, Porozite.

Characterization and Production of Activated Carbon from Doum Palm Fruit Shell

Abstract

Activated carbon has a highly developed internal surface area and porosity is used in a wide industry area due to its adsorption capacity of organic and inorganic substances. In this study, doum palm fruit shells were activated with $ZnCl_2$ for 10 hours and then exposed to carbonization at $900^\circ C$ for 2 hours to obtain activated carbon. The character analysis of activated carbon was investigated by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Brunauer-Emmett-Teller (BET) and thermal gravimetric analysis (TGA). In the study, the surface area of activated carbon was determined as $84.629 m^2 / g$ for raw sample and $433.192 m^2 / g$ for activated carbon. The increase in the porosity of the activated samples is clearly apparent from the pore size distribution and SEM images. The thermal gravimetric analysis result showed that the degradation of the raw sample took place in two stages. Moreover, in the EDX analysis, the zinc element in the structure of the activated carbon indicates that the activation process was carried out successfully.

Keywords: Activated Carbon, Doum Palm Fruit, Porosity.

* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Oltu, Erzurum, Türkiye, ORCID: : 0000-0002-4465-0916, ozkan.acisli@atauni.edu.tr

1. Giriş

Aktif karbon endüstride; gazların koku ve kirliliklerinin giderilmesinde, depolanmasında, gıda sanayinde, atık su arıtımında, sağlık sektöründe, metal ve savunma sanayisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Saygılı, 2017). Aktif karbon karbon temelli kaynaklardan, %70–90 aralığında karbon içerikli malzemelerin aktivasyon sürecinin son ürünüdür. Aktive edilmiş bir karbon, genişletilmiş parçacıklar arası yüzey alanı sergileyen yüksek derecede gözeneklilik içeren çok çeşitli amorf bazlı malzemeler içerir (Danish, Hashim, Ibrahim, & Sulaiman, 2013). Aktif karbonun yüzey ve yapısal özelliklerini, seçilen hammadde ve onun aktive edilmesi sırasında uygulanan üretim metotları belirler (Saygılı, 2017).

Aktif karbonun aktivasyon işlemi genel olarak fiziksel aktivasyon işlemi ve kimyasal aktivasyon işlemi ile yapılır. Fakat nadir de olsa bu iki yöntemin birlikte kullanılması ile de hazırlanabilmektedir (Danish et al., 2013). Fiziksel aktivasyon işlemi karbonizasyon aşaması ve aktivasyon aşaması olarak iki basamakta sağlanmaktadır. Karbonizasyon işleminde hammadde inert gaz altında 600- 800 °C aralığında karbonize edilmekte ve daha sonra su buharı, azot veya karbon dioksit kullanılarak aktivasyon sağlanmaktadır. Kimyasal aktivasyon işleminde ise, hammaddenin sülfürik asit (Hameed, Ahmad, & Aziz, 2007), fosforik asit (Solum, Pugmire, Jagtoyen, & Derbyshire, 1995), potasyum hidroksit (Jagtoyen & Derbyshire, 1998), çinko klorür (Yorgun, Vural, & Demiral, 2009) veya kalsiyum oksit (Danish et al., 2011) gibi kimyasal aktivatörlerle etkileştirilmesi esasına dayanmaktadır. Kimyasal aktivasyon işlemi; düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebiliyor olması ve ayrıca toplam verimin yüksek olması sebebiyle fiziksel aktivasyon işlemine göre daha üstün kılınmaktadır (Sahu, Acharya, & Meikap, 2010). Kullanılan kimyasal aktivatörler arasında $ZnCl_2$ en yaygın kullanılanıdır. Karbonizasyon işleminden önce, kullanılan hammaddenin $ZnCl_2$ ile muamele edilmesi, karbonizasyon esnasında nem giderimine (dehidrasyon), maddenin selülozik yapısının bozulmasına ve gözenekliliğinin düzenlenmesine neden olmaktadır. Karbonizasyon işleminden sonra, maddenin karbon iskeletinde çarlaşma ve aromatisasyonuna neden olarak, gözenekli yapının ortaya çıkmasını sağlayacaktır (Olivares-Marin, Fernandez-Gonzalez, Macias-Garcia, & Gomez-Serrano, 2006). Aktif karbondaki kullanılacak maddenin, bol miktarda, ucuz ve erişilebilir olması en önemli etkidir. Uzun süredir, lignoselülozik malzemeleri içeren odun, meyve kabuğu ve çekirdekleri gibi malzemeler aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır (Saygılı, 2017).

Bu çalışmada, Sudan'dan temin edilen Doum Palm meyve kabuklarından aktif karbon üretilmesi amaçlanmıştır. Şimdiye kadar bahse konu olan meyve kabuklarından aktif karbon üretiminin yapıldığına ilişkin herhangi bir literatür verisine rastlanılmamıştır. Bu amaçla öğütülen meyve kabukları kimyasal aktivasyona ($ZnCl_2$) tabii tutulduktan sonra karbonizasyon işlemine geçilmiştir. Elde edilen aktif karbonun, yüzey özellikleri, gözenek dağılımı ve yapısal özellikleri XRD, FTIR, SEM, BET ve TGA gibi karakter analizleri ile aydınlatılmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal ve kullanılan kimyasallar

Hammadde olarak kullanılan Doum Palm (DP) meyve kabukları Sudan'dan temin edildi. Her türlü yüzey temizliği yapılan meyve kabukları çok sert olmaları münasebeti ile çeneli kırıcıda öğütülerek cm tanecik boyutuna getirildi. Daha sonra, destile su ile yıkanıp 70°C sıcaklıkta, 24 saat süreyle etüvde bekletilerek kurutuldu. Karbonizasyon ve aktivasyon işlemleri yüksek sıcaklıklı reaktör kullanılarak yapıldı. Karbonizasyon esnasında inert gazlardan azot gazı kullanıldı. Kimyasal aktivasyon işleminde kullanılan çinko klorür ($ZnCl_2$) analitik saflıkta olup, Sigma-Aldrich firmasından temin edildi.

2.2. Aktif karbonun hazırlanması

Doum Palm (DP) meyve kabuklarının kimyasal aktivasyonu için, 10 g $ZnCl_2$, 150 mL damıtılmış su içinde çözüldü ve daha sonra 10 g kurutulmuş DP meyve kabukları çinko klorit çözeltisi içine eklenerek; 85 °C'de yaklaşık 2 saat boyunca manyetik bir karıştırıcıda karıştırıldı. Karışımlar yaklaşık 24 saat 110 °C'de etüvde kurutuldu. $ZnCl_2$ ile muamele edilen numunelerin, karbonizasyon işlemi Protherm PZF 12/105/750 tüp fırınında gerçekleştirildi. Numuneler 7 cm çapında ve 100 cm uzunluğunda cam reaktörün içine kondu. Tüp içerisinden 100 mL/dk akış hızında inert gaz (N_2) geçirilerek, 10 °C/dk ısıtma hızında, 1 saat 500 °C'de ısıtılması sağlandı. Soğutma işlemi oda koşullarında ve azot gazı atmosferi altında yapıldı. Daha sonra numunelere, 0.2 M, 500 ml HCl eklenerek 1 saat kaynamaya bırakıldı. Süzülen numunelerde Cl^- iyonu kalmaması için, $AgNO_3$ ile yıkama yapıldı. İşlem ortamında Cl^- iyonları reaksiyon vermeyinceye kadar devam etti. Daha sonra 105°C'de 24 saat etüvde kurutulularak istenilen boyuta gelecek şekilde elenerek muhafaza edildi.

2.3. Hammaddenin özellikleri

Doum palm meyvesi kabukları meyvenin bir atığı olup, Afrika'da bolca görülen önemli bir biyokütle çeşididir. Bu çalışmada aktif karbon üretmek amacıyla Afrika-Sudan'dan getirilen doum palm meyve kabuklarının tane boyutu küçültülüp, elek analizi yapılarak 0.50-1.50 cm tane boyut aralığına sahip numuneler kullanılmıştır. Numunenin nem, uçucu madde, sabit karbon ve kül analizleri Protherm PLF firması kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Doum palm meyve kabuğunun ham ve kimyasal aktivasyon sonrası elde edilen numunelerin kısa analiz sonuçları

Numune	Nem (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Kül (%)
Ham numune	3.20	26.77	66.60	3.44
Aktive edilmiş numune	5.50	41.65	50.24	2.62

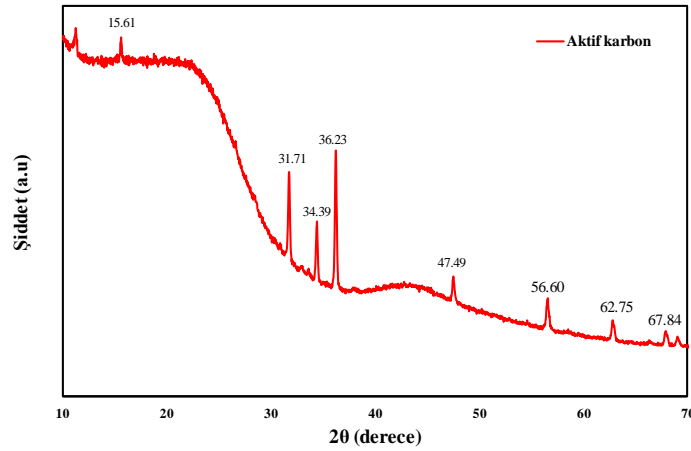
2.4. Karakterizasyon çalışmaları

Hazırlanan Doum Palm meyve kabuklarının karakterizasyonu çeşitli analizler ve ölçümler kullanılarak ayrıntılı olarak tanımlandı. X ışını kırınımı (XRD) analizleri, Cu-K α radyasyonu (40 kV, 30 mA, 1.54051 Å) bulunan bir PANalitık Empyrean cihazı (ABD) kullanılarak yapıldı. Aktif Karbonun ve karbonun yüzey fonksiyonel gruplarının nitel olarak belirlenmesi için FT-IR Spektrofotometrik analizleri Tensor 27, Bruker cihazı (Almanya) kullanılarak, 4000-400 cm⁻¹ aralığında, potasyum bromür tekniği ile yapıldı. Karbonun ve Aktif karbonun yüzey fiziksel morfolojileri ve elementel bileşimleri EDX bağlantılı SEM cihazı (Zeiss Sigma 300, Almanya) kullanılarak incelendi. Elde edilen aktif karbonun gözenek boyut dağılımı, karakteristiği ve yüzey alanı 77 K'deki azot (N₂) adsorpsiyon-desorpsiyonu ile Micromeritics 3Flex cihazı kullanılarak belirlendi. Termal Gravimetrik özellikleri ise Netzsch STA 409 PC Luxx cihazı kullanılarak belirlendi.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. XRD Kristalografik analizi

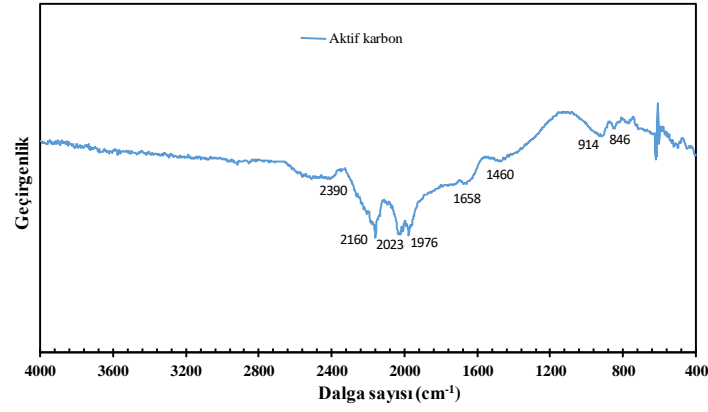
Aktif karbon üretiminde kimyasal aktivasyon ve karbonizasyon işlemi, maddenin moleküler, kristalin ve biyokütlesinde önemli değişikliklere neden olmaktadır. Bu nedenle değişen bu yapının, karakterize özelliklerini belirleme de XRD yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Saygılı, 2017).

**Şekil 1.** Doum Palm (DP) ve Aktive edilmiş Doum Palm (DPAK)'un X-ray difraksiyon analizi

Yapılan analizde gözlemlenen, $2\theta = 31.71^\circ$ de gözlemlenen keskin pik, aktif karbonun defalarca yıkanmasına rağmen aktifleştirilmesi sırasında gözlemlenen ve ZnO ait olan piktir ve ayrıca bu pik amorf selüloz yapısının varlığını da işaret etmektedir (Saygılı, 2017; Wang et al., 2015). Ayrıca $2\theta = 15.61^\circ$ karakteristik piki maddenin selülozlu yapı içerdiğine de işaret etmektedir (Zhang et al., 2015). Ayrıca, $2\theta = 34.39^\circ, 31.71^\circ, 36.17^\circ$ keskin pikleri aktif karbonun varlığını doğrulayan temel piklerdir (Kumar, Amarnath, Jabasingh, & Sathish, 2016).

3.2. FTIR Analizi

Kimyasal aktivasyon yöntemi ile elde edilen aktif karbondaki meydana gelen yapısal değişiklikleri belirlemek için FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir. FTIR spektrumları, yüzeydeki fonksiyonel grupların dağılımlarının nitel analizinde kullanılan önemli bir yöntemdir (Saygılı, 2017). Şekil 6.'da ise kimyasal aktivasyon işlemi ile elde edilen aktif karbonun FTIR grafikleri görülmektedir. Bilindiği üzere odunsu yapıların FTIR bileşenleri başlıca; selüloz yapılarında bulunan fenolik ve polifenolik OH grupları, polisakkaritlerin OH grupları, karbonil ve aromatik yapıda bulunan C=C grupları ve ayrıca ketonlardan ve alkil gruplarından (hemiselüloz, reçineler) oluşmaktadır (Tasmakran, 2010; Viera et al., 2007). Bu grupları içeren odunsu yapıdaki maddelerin FTIR grafikleri incelendiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

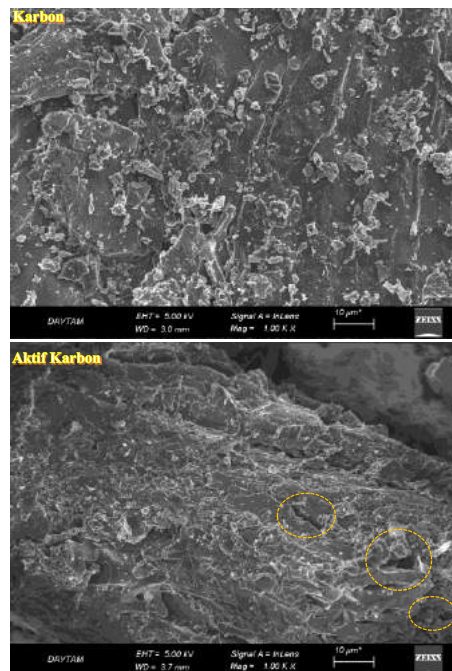


Şekil 2. Aktive edilmiş Doum Palm meyve kabuklarının yüzey fonksiyonel grup (FTIR) analizi

Spektrumda $875-750 \text{ cm}^{-1}$ arasında gözlemlenen bantların aromatik yapıdaki C – H bükülme titreşimlerinden kaynaklandığı söylenebilir (Zhang et al., 2015). Ayrıca, $800-1000 \text{ cm}^{-1}$ bandı aralığında kalan 914 cm^{-1} piki, C-OH gerilmelerinden kaynaklanan piklerdir (İskeçeli, 2010). 1460 cm^{-1} arasında gözlemlenen band, C – O germe titreşimlerine atfedilebilir (Zhang et al., 2015). 1658 cm^{-1} civarında gözlemlenen pik, pek çok araştırmacı tarafından tam olarak açıklanamamış olmakla birlikte karbonlu malzemelerdeki aromatik C=C gerilmelerinin bir sonucu olduğu bildirilmiştir, aldehit, keton, ester ve karboksilik asitler bu tip bağ yapısına sahip organik gruplardır (Örkün, 2011). Diğer taraftan, 2390 cm^{-1} de görülen geniş band, aktif karbon-ZnCl₂ çoklu bağ germe titreşimine atfedilebilir (Danish et al., 2013). $1900-2200 \text{ cm}^{-1}$ aralığında görülen salınım pikleri metil selüloz pikleri ile uyum içindedir, benzer salınım pikleri Vierre, R ve arkadaşları tarafından yapılan şeker kamışından metil selüloz eldesi ile ilgili çalışmada, elde edilen FTIR pikleri ile uyum içindedir (Viera et al., 2007). Yapı metil klorür ile selülozun kimyasal reaksiyonu sonucu oluşabilir.

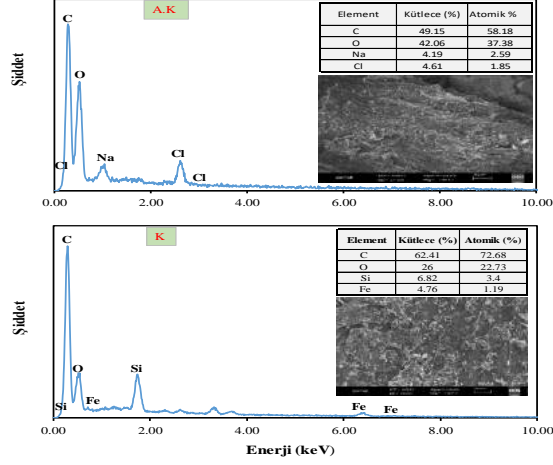
3.3. Morfolojik analizlerinin değerlendirilmesi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), incelenen malzemelerin yüzey morfolojilerinin ve yüzey fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir. Numunenin kimyasal olarak aktifleştirilmiş ve aktifleştirilmemiş hallerinin karbonizasyon sonrası çekilen taramalı elektron mikroskobu görüntüleri aşağıda Şekil 3.'te verilmektedir. Ham numunenin SEM görüntüsüne bakıldığında, malzemenin dış yüzeyinin oldukça girinti ve çıkıntılara sahip pürüzlü bir yüzeyden oluştuğu görülmektedir. ZnCl₂ ile yapılan kimyasal aktivasyon işlemi ve akabinde yapılan karbonizasyon işleminden sonra numunede bulunan uçucu bileşenlerin uzaklaştığı ve sonucunda çukurların oluştuğu görülmektedir. Burada kimyasal aktivasyon ve karbonizasyon işlemi süresince numunede gözeneklerin geliştiği ve yüzeyin heterojen bir yapıya kavuştuğu görülmektedir. Bu durum, ham yapının aktif karbona dönüştüğünün göstergesidir ve SEM görüntüleri ile belirgin bir şekilde görülmektedir (Saygılı, 2015)



Şekil 3. Doum Palm (DP) ve aktive edilmiş Doum Palm (DPAK)'un taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

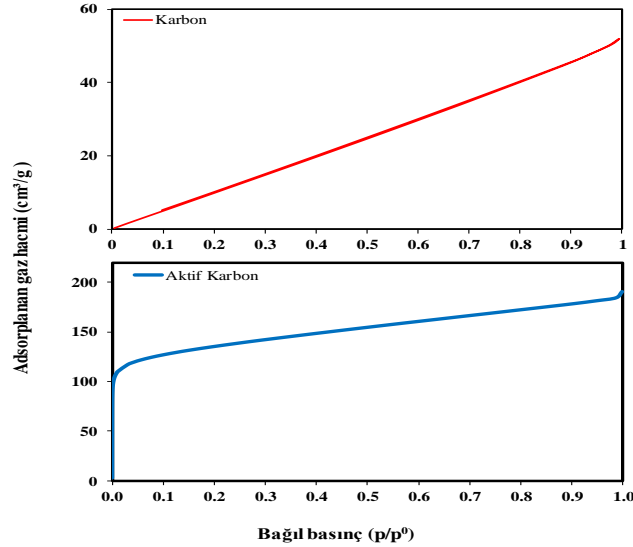
Gözeneklilikteki artış N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izoterminden de belirgin bir şekilde görülmektedir. Elde edilen aktif karbonun yüksek yüzey alanına sahip olduğu ve gözenek hacminin, mikro ve mezo yapıları oldukça geniş bir gözenek boyut dağılımına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca hammaddede var olan farklı oksijen içerikli grupların kimyasal aktivasyon ve karbonizasyon işlemi boyunca karbonlu yapının, oksidatif bozunma sonucunda aromatzasyona uğradığı ve bu durumun aktif karbonda bazı karbonil gruplarının dekompoze olduğunu göstermiştir. Şekil 4’de EDX grafiklerine bakıldığında $ZnCl_2$ ’ün emdirilmesinden kaynaklı aktif karbonda Cl elemanı kütlece % 4.61 oranında bulunurken bu durum kimyasal aktivasyona uğramayan doum palm meyve kabuklarında gözükmemektedir.



Şekil 4. Hammadde (DP) ve Aktif Karbonun (DPAK) EDX analizi

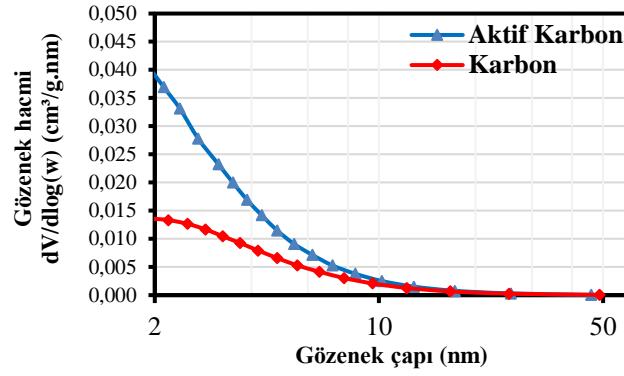
3.4. Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılım analizi

Şekil 5, DP ve DPAK’ dan hazırlanan aktif karbonun N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi ve Şekil 6’da DP ve DPAK’ın gözenek boyut dağılımına göstermektedir. Tablo 2 ise adsorpsiyon-desorpsiyon izoterminden belirlenen gözenek karakteristiklerini içermektedir.



Şekil 5. Doum Palm meyve kabuklarından üretilen aktif karbonun azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafiği

Şekil 5’den görülebileceği gibi aktive edilmiş karbonda (DPAK), düşük nispi basınçlarda, adsorpsiyon-desorpsiyon izotermelerinde hızlı bir artış gözlenir; bunu, daha yüksek nispi basınçlarda neredeyse yatay bir plato izleyerek devam etmektedir. Bu durum IUPAC’ın sınıflandırmasına göre tanımlanmış, Brunauer, Deming, Deming ve Teller (BDDT) izoterm sınıflandırmasından Tip I izoterm tipini göstermektedir (Yorgun et al., 2009). Tip I izotermi, mikro gözenekli yapıya sahip bir materyali temsil eder. Adsorpsiyondaki ana alım, Şekil 5’te gösterildiği gibi, ağırlıklı olarak dar gözenek büyüklüğü dağılımına sahip çok gözenekli malzemelerin oluşumunu gösteren düşük nispi basınçlarda meydana gelir (Yorgun et al., 2009). Grafik boyunca herhangi bir kılcal yoğunlaşmanın olmadığı ve dolayısıyla herhangi bir histeresis ilmeğinin de oluşmadığı görüldü. Bu izoterm tipi karakteristik olarak oldukça fazla miktarda küçük gözeneklere sahip adsorbentlerde görülen bir durumdur (Örkün, 2011).



Şekil 6. Doum Palm meyve kabuklarından üretilen aktif karbonun gözenek boyut dağılımı

Şekil 6’da doum palm meyve kabuklarından hazırlanan aktif karbonun ve karbonun gözenek boyut dağılımını içeren grafik yer almaktadır. Adsorplayıcı gözenekleri, IUPAC’ın sınıflandırmasına göre; makro gözenek (çap > 50nm), mezo gözenek (2 < çap < 50nm) ve mikro gözenek (çap < 2nm) olarak üç gruba ayırmak mümkündür (Örkün, 2011).

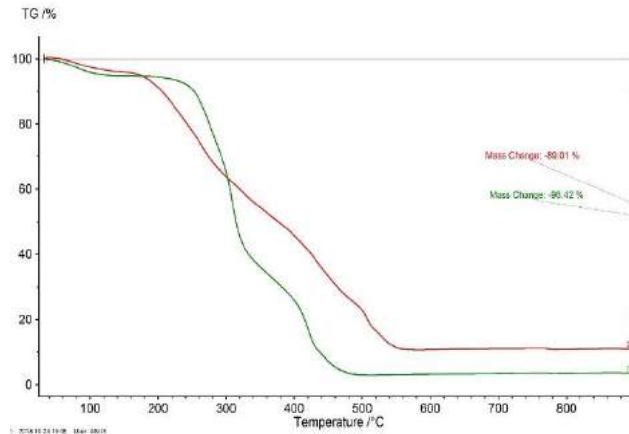
Tablo 2. Doum palm meyve kabuklarından üretilen aktif karbonun gözenek karakteristik değerleri

Değerler	Karbon	Aktif Karbon
BET yüzey alanı (m ² /g)	84.629	433.192
BJH toplam yüzey alanı (m ² /g)	63.782	139.202
Toplam por hacmi (cm ³ /g)	0.072	0.131
Ortalama por çapı (nm)	4.495	3.765

Şekil 6’dan aktif karbonun gözenek boyut dağılım grafiği incelendiğinde, malzemenin gözenek dağılımının 2-50 nm değerleri arasında yer aldığı görülmüştür. Gözenek boyut dağılım eğrisinden, elde edilen malzemenin ortalama gözenek çapı (D_p) değerinin 3.76 nm olduğu belirlenmiş ve gerekli değerler Tablo 2’de verilmiştir. PDAK için belirlenen bu değer, gelişmiş mikro gözeneklere sahip olmasının yanı sıra içerisinde ağırlıklı olarak mezo gözenekli yapısında olduğu sonucunu teyit etmektedir (Saygılı, 2015). Gözenekler tipik olarak, bir kere adsorbe ile doldurulan ve daha fazla adsorpsiyon için neredeyse hiç ya da çok az dış yüzey bırakan, mikroporoz yapılarıdır (Leddy, 2012).

3.5. Termal Gravimetrik Analiz

Karbonizasyon sıcaklığı ve emdirme oranı, aktif karbon verimini etkileyen en önemli işlem parametreleri olarak kabul edilebilir (Açıkyıldız, Gürses, & Karaca, 2014). Aktif karbon numunelerinin termal bozunma özelliklerini analiz etmek ve termal davranışları belirlemek için; termogravimetri analizi (TGA) Netzsch STA 409 PC Luxx cihazı kullanılarak sıcaklığın bir fonksiyonu olarak hesaplandı. Ölçüm için, yaklaşık 5 mg numune, bir mikrobalsın tavası üzerinde bir potaya yerleştirildi ve daha sonra, 20 mL / dak hava akış hızında, 10 K / dak. Isıtma hızında, 22 °C ile 900 °C arasında ısıtıldı ve sürekli olarak tartıldı. Şekil 7, Doum palm meyve kabuklarının termal ayrışması için hava atmosferinde 10 K/dk ısıtma oranlarında gerçekleştirilen TGA eğrisini göstermektedir.



Şekil 7. Doum Palm meyve kabuklarının termal gravimetrik analizi

Şekil 7'de TGA grafiğinde görüldüğü gibi, doum palm meyve kabukları için karbonizasyon sıcaklığının iki aşamalı bir bozunma davranışı gösterdiği görülmüştür. Ayrışma sıcaklıklarının, ısıtma oranındaki bir artışla arttığı görülmektedir. İlk aşamada (383 ila 523 K arasında), termal ayrışma, su ve hafif uçucu bileşiklerin kütle kaybına bağlanabilir. İkinci aşamada ise (533–873 K) hidrokarbon malzemenin ayrışmasını ve gazların ve yağ buharının evrimini içerir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada doum palm meyve kabuklarının $ZnCl_2$ ile kimyasal aktivasyonu sağlanmış ve elde edilen aktif karbonun yapısal, morfolojik ve gözenek özellikleri incelenmiştir.

- ✓ XRD spektrumu elde edilen aktif karbonun grafitik tip karbon olduğunu,
- ✓ FT-IR spektrumu, doum palm meyve kabuklarında oksijen içerikli grupların, kimyasal aktivasyon ve karbonizasyon süresince karbonlu yapının aromatzasyona uğradığı ve bazı karbonil grupların bozunduğu,
- ✓ Elde edilen aktif karbonun, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermine bakınca yüzey alanının önemli ölçüde arttığı, mikro ve mezo gözeneklere sahip boyut dağılımına sahip olduğu,
- ✓ SEM görüntüleri kimyasal aktivasyon ve karbonizasyon işlemlerinin etkisiyle doum palm meyve kabuklarının gözenekliliğinin gelişerek aktif karbona dönüştüğü, görülmüştür.

Bütün bunların sonucunda üretilen malzemenin aktif karbon olarak kullanılabilceğinin sonucunu çıkarmak mümkündür.

5. Teşekkür

XRD, FTIR, SEM, BET ve EDX analizlerimiz Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Merkezinde (DAYTAM); Termal Gravimetrik Analizi ve Karbonizasyon işlemini yapan Dr. Öğr. Üyesi Hatice Bayrakçeken'e ve Sudan'dan Doum palm meyvelerini getiren Arş. Gör. Faisal Mohamedgread'a çok teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Açıkyıldız, M., Gürses, A., & Karaca, S. (2014). Preparation and characterization of activated carbon from plant wastes with chemical activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 198, 45-49. doi:<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.07.018>
- Danish, M., Hashim, R., Ibrahim, M. N. M., Rafatullah, M., Sulaiman, O., Ahmad, T., . . . Ahmad, A. (2011). Sorption of Copper(II) and Nickel(II) Ions from Aqueous Solutions Using Calcium Oxide Activated Date (*Phoenix dactylifera*) Stone Carbon: Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 56(9), 3607-3619. doi:10.1021/je200460n
- Danish, M., Hashim, R., Ibrahim, M. N. M., & Sulaiman, O. (2013). Effect of acidic activating agents on surface area and surface functional groups of activated carbons produced from Acacia mangium wood. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 104, 418-425. doi:10.1016/j.jaap.2013.06.003
- Hameed, B. H., Ahmad, A. A., & Aziz, N. (2007). Isotherms, kinetics and thermodynamics of acid dye adsorption on activated palm ash. *Chemical Engineering Journal*, 133(1-3), 195-203. doi:10.1016/j.cej.2007.01.032
- İskeçeli, M. (2010). *KESTANE KABUKLARINDAN SENTETİK AKTİF KARBON HAZIRLAMASI VE METİLEN MAVİSİNİN GÖZLEMLİĞİNDE KULLANILMASI*.
- Jagtoyen, M., & Derbyshire, F. (1998). Activated carbons from yellow poplar and white oak by H_3PO_4 activation. *Carbon*, 36(7-8), 1085-1097. doi:10.1016/S0008-6223(98)00082-7
- Kumar, J. A., Amarnath, D. J., Jabasingh, S. A., & Sathish, S. (2016). Thermo-chemical sequestration of naphthalene using Borassus flabellifer Shell activated carbon: Effect of influencing parameters, isotherm and kinetic study. *African Journal of Biotechnology*, 15(48), 2703-2713.
- Leddy, N. (2012). SURFACE AREA AND POROSITY. In: CMA Analytical Workshop.
- Olivares-Marin, M., Fernandez-Gonzalez, C., Macias-Garcia, A., & Gomez-Serrano, V. (2006). Preparation of activated carbon from cherry stones by chemical activation with $ZnCl_2$. *Applied Surface Science*, 252(17), 5967-5971. doi:10.1016/j.apsusc.2005.11.008
- Örkün, Y. (2011). *FINDIK KABUĞUNDAN FİZİKSEL VE KİMYASAL AKTİVASYONLA AKTİF KARBON ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU*. (YÜKSEK LİSANS TEZİ), İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ,
- Sahu, J. N., Acharya, J., & Meikap, B. C. (2010). Optimization of production conditions for activated carbons from Tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology. *Bioresource Technology*, 101(6), 1974-1982. doi:10.1016/j.biortech.2009.10.031
- Saygılı, H. (2015). *Bazı Bitkisel Posalardan Nano Gözenekli Aktif Karbonlar Üretilmesi ve Bazı Adsorpsiyon Uygulamalarında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi*. Dicle
- Saygılı, H. (2017). Yeni bir hammaddeden üretilmiş karbonlu malzemenin yapısal, morfolojik ve gözenek özellikleri üzerine çalışmalar. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 8(1), 245-252.
- Solum, M. S., Pugmire, R. J., Jagtoyen, M., & Derbyshire, F. (1995). Evolution of Carbon Structure in Chemically Activated Wood. *Carbon*, 33(9), 1247-1254. doi:10.1016/0008-6223(95)00067-N
- Tasmakıran, A. F. (2010). *Zirai Yan Ürünlerin Modifiye Edilerek Yeni Adsorbanların Hazırlanması ve Boyaların Adsorpsiyonu*.

- Viera, R. G. P., Filho, G. R., de Assunção, R. M. N., S. Meireles, C. d., Vieira, J. G., & de Oliveira, G. S. (2007). Synthesis and characterization of methylcellulose from sugar cane bagasse cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 67(2), 182-189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.05.007>
- Wang, K., Zhao, N., Lei, S., Yan, R., Tian, X., Wang, J., . . . Liu, L. J. E. A. (2015). Promising biomass-based activated carbons derived from willow catkins for high performance supercapacitors. *166*, 1-11.
- Yorgun, S., Vural, N., & Demiral, H. (2009). Preparation of high-surface area activated carbons from Paulownia wood by ZnCl₂ activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 122(1-3), 189-194. doi:10.1016/j.micromeso.2009.02.032
- Zhang, L., Wang, Q., Wang, B. B., Yang, G. H., Lucia, L. A., & Chen, J. C. (2015). Hydrothermal Carbonization of Corn cob Residues for Hydrochar Production. *Energy & Fuels*, 29(2), 872-876. doi:10.1021/ef502462p



İstanbul'da Bulunan Sağlık Bakanlığı Hastanelerinin Verimlilik Analizi

Menekşe Kılıçarslan^{1*}, Abdulkadir Güçlü²

¹ İstanbul Aydın University, Health Management Department, İstanbul – Turkey, (ORCID: 0000-0002-0580-8645)

² İstanbul Aydın University, Health Management Department, İstanbul – Turkey, (ORCID: 0000-0001-8005-5367)

(İlk Geliş Tarihi 19 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.555814)

ATIF/REFERENCE: Kılıçarslan, M. & Güçlü, A. (2019). İstanbul'da Bulunan Sağlık Bakanlığı Hastanelerinin Verimlilik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 552-558.

Öz

Hizmet sektöründe artan rekabet ve buna dayalı maliyetler çok önemli bir yer tutmakta ve rekabet gücünün anahtar rolünü üstlenmektedirler. Hizmet ve hizmetin aksamaması için maliyetlerin azaltılarak gelirin artırılıp hem rekabet gücü hem de hastanelerde hastaların memnuniyeti artacağından Veri zarflama yöntemi önemini giderek artırmaktadır. Bu çalışmada kullanılan Veri Zarflama Analizi (VZA), çok kriterli karar verme yöntemleri arasında son derece yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Her türlü mal ve hizmet üretimi faaliyetleri göz önüne alındığında, artık tek bir girdi kullanarak tek bir çıktı üretimi yapılmadığı görülecektir. Türkiye için önemli bir yer olan İstanbul ilinde faaliyet gösteren kamu hastanelerinin, belirlenen temel girdi ve çıktı göstergeleri ele alınarak etkinlikleri hesaplanmış ve bir etkinlik sıralaması oluşturulmuştur. Ölçüm sonrasında tam etkinlik skoru alamayan karar birimleri için, etkinliklerini artırabilmeleri yönünde önerilerde bulunulmuştur.

Araştırmamıza İstanbul'da bulunan Sağlık Bakanlığı'na bağlı ve girdi ve çıktı verilerine ulaşabildiğimiz 49 hastane dahil edilmiştir. Hastanelerin 2014 yılı yatak, doktor, hemşire ve diğer personel sayıları girdi olarak, poliklinik, acil muayene, yatan hasta, yatılan gün ve ameliyat+doğum sayıları çıktı olarak değerlendirilmiştir. Girdi ve çıktı değerleri Max DEA 7 Basic programı ile ölçüğe göre değişen getiri varsayımına dayalı olan BCC (Banker, Charnes ve Cooper) modeli ile ve çıktıya yönelik veri zarflama analizine tabi tutulmuştur. Yapılan analiz sonucunda 49 hastanenin 24'ü (% 49) görel verimli, 25'i (% 51) görel verimsiz bulunmuştur. Görel verimsiz olarak bulunan 25 hastaneden 14'ünün verimlilik skorları 0,90-0,99 arasında, 6 tanesi 0,80-0,89 arasında, kalan 5 tanesi ise 0,15-0,76 arasında bulunmuştur.

Hastane yöneticileri, hastanelerinde performans değerlendirme çalışmaları yaparak mevcut kaynaklarını daha etkin kullanabilirler ve sağlık hizmetleri üretimlerini artırarak toplumun sağlık hizmetleri ihtiyaçlarını daha yüksek oranda karşılayabilirler.

Anahtar Kelimeler: Veri Zarflama Analizi, Etkinlik, Hastane, İsrif

Productivity Analysis of Ministry of Health Hospitals in Istanbul

Abstract:

Increasing competition in the service sector and the costs based on this play a key role in the competitive force. To avoid the disruption of service, increasing the revenue by reducing costs will foster competitiveness and satisfaction of patients in hospitals and in this regard, the importance of data envelopment method is highly demanding. In this study, Data Envelopment Analysis (DEA) has found as an extremely widespread use of multi-criteria decision-making methods. Considering the production activities of all kinds of goods and services, it is no longer possible to produce a single output by using a single input. In Turkey, İstanbul is an important province for operating the public hospitals. These hospitals' main input and output indicators were determined and their activities were calculated.

¹ Sorumlu Yazar: İstanbul Aydın University, Health Management Department, İstanbul – Turkey, ORCID: 0000-0002-0580-8645, meneksevarol69@gmail.com

By this way, their activity ranking was established. After measurement, suggestions were made to the decision making units who have not got full activity score so as to increase their effectiveness.

In our research, 49 hospitals' which are affiliated to the Ministry of Health in Istanbul, input and output data were included. In 2014, the number of beds, doctors, nurses and other staff of hospitals was used as input data as well as polyclinic, emergency examination, inpatient, days of inpatient, operation + birth numbers were evaluated as output data. Input and output values are scale-varied with Max DEA 7 Basic program and based on the assumption of BCC (Banker, Charnes and Cooper) model as well as output were subjected to data envelopment analysis. As from the result of the analysis, 24 (49%) of the 49 hospitals were relatively productive and 25 (51%) were relatively inefficient. Of the 25 hospitals that were found inefficient, 14 hospitals' efficiency scores were between 0.90-0.99, 6 hospitals' were between 0.80-0.89 and the remaining 5 hospitals' were between 0.15-0.76. Hospital managers can use their existing resources more effectively by ensuring the performance evaluations in their hospitals and increase the productivity of health services. By this way they can meet the health services needs of the community at a higher rate.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Activity, Hospital, Waste

1. Giriş

Performans kavramı bilimsel literatürde tam anlamı ile bir tanımı bulunmadığından çeşitli şekillerde tanımlanmıştır (Gencer, 2006: 6). 16. Yüzyılda, askeri yerlerde görev alanların "başarı ve emirleri yerine getirmeleri şeklinde" kullanılmıştır (Lawson, 1995: 3). Günümüzde ise performans, "belli bir hedefe ulaşmak için yapılan planlar ve amaçlar doğrultusunda varılan nokta" olarak tanımlanmaktadır (Gencer, 2006: 6).

Başka bir deyişle performans, "Bir çalışanın belirli bir zaman kesiti içerisinde kendisine verilen görevi yerine getirmek suretiyle elde ettiği sonuçlardır" (Bingöl, 2003: 273).

Barkey (2002, 26-27) ise performans, örgütlerin, ekonomik avantajlar elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş verimli varlıkların bir bileşimi olduğu fikrine dayalı olarak tanımlamaktadır. Bir işletmenin varlıkları, iş görenler, yönetim, girişimcilik yeteneği, fiziksel sermaye gibi unsurlardan oluşur. İşletmeler değer yaratmak için bu varlıkları kullanırlar ve her bir varlık kendisinden beklenen bir değere sahiptir.

Diğer bir anlatımla performans, işletme amaçlarının gerçekleştirilmesi için gösterilen tüm çabaların değerlendirilmesidir (Kenger, 2001:38). İşletmelere göre performans "değer yaratabilmek" tir. Performans, hem "doğru işin yapılması" (strateji) hem de "işin doğru yapılması" (Toplam Kalite Yönetimi) ile sağlanabilmektedir. İşletmecilik açısından fonksiyonelliğin kalitesi olarak anlaşılan performans, yönetim açısından ise, yönetim kalitesi ile ilişkilendirilmektedir. 21. Yüzyılın başlarında Taylor'un gerçekleştirdiği üretkenlik ölçümleri ile başlayan performans ölçümü ve değerlendirilmesine yönelik ilgi günümüze kadar sürekli bir artış eğilimi göstererek devam etmektedir (Pervaiz vd., 1999: 305). Performans kavramının bu değişim süreci içerisinde değişmeyen ve önemini yitirmeyen tek boyut ekonomiktir. İster özel, ister kamu, ister üretime yönelik, isterse hizmet kurumları olsun kârlılık ve dolayısı ile ekonomiklik temelinde varlıklarını sürdürmek yarışı içindedirler. Kâr ve kârlılık, hem işletme hem de toplum için önem arz etmektedir (Gencer, 2006: 7). İşletme performansı geniş bir boyut içerisinde aşağıdaki sorulara yanıt arayan bir kavram olarak ortaya çıkmaktadır (Gencer, 2006: 8).

- Şimdi neredeyiz?
- Daha ne kadar iyi olabiliriz?
- Nerede olmalıyız?

Bu üç temel soru işletme performansının ne anlama geldiğini genel olarak açıklamaktadır. Yine bu üç temel soru işletme performansının tanımlanması ve değerlendirilmesine ilişkin alanları belirlemektedir. Son dönemlerdeki sınıflandırmada, örgütsel bir sistemde performans kavramı aşağıdaki boyutlar ile tanımlanmaktadır. Bunlar (Kenger, 2001: 39-43);

Etkenlik (effectiveness), Verimlilik (productivity), Etkililik (efficiency), İktisadilik (economic), Kalite (quality), Çalışma yaşamının kalitesi (quality of working life), Kârlılık ve bütçeye uygunluk (ratabilite, profitability, budgetability), Yenilik (innovation).

Sağlıkta performans ve etkileri genel anlamda değerlendirilirse en önemli etkisi işletmelerin maliyetlerinin azalması ile birlikte verimliliğin artması olarak görülmektedir.

2. Genel Bilgiler

A. Veri Zarflama Analizi

Tüm organizasyonlarda etkinlik değerlendirmesi ile mevcut olan durumun ortaya konulmasında amaçtan çok hedeflerin ölçülebilmesi, gerçekleşme potansiyellerinin belirlenmesi ve mümkün olduğunca iyileşme potansiyeline sahip olan alanların belirlenebilmesi için önemli bir araç haline gelmektedir.

Organizasyonların varlık amaçlarını çok iyi bir şekilde belirlemesi, hedefler doğrultusunda sürekli ölçüm yapabilmesi, yönetimin en önemli faaliyet alanları içinde olmalıdır. (Demirci, 2012:13). Günümüz koşullarında üretim alanında çalışan organizasyonların sıklıkla başvurduğu etkinlik ölçüm yöntemi Veri Zarflama Analizi (VZA)'dir.

VZA'yı diğer yöntemlerden ayıran bazı temel özellikler ise aşağıda gösterilmektedir (Chu vd., 2008:19);

• Maksimum üretim hesaplamalarında kullanılan yöntem, sonuç fonksiyonu ile başlangıçta olan girdi ve çıktılar arasında bir ilişki kurabilmenin mümkün olamaması nedeniyle, yanlış bir fonksiyon oluşturma riskinden uzaklaşmış olur.

- VZA, değişik ölçü birimlerinden uzak, matematiksel tabanlı bir yöntemdir.
- VZA ile daha objektif ve tarafsız sonuçlar elde edilir.

VZA hesaplamaları aşağıda belirtilen özelliklerden dolayı diğerlerinden daha çok ön plana çıkmaktadır. (Charnes vd, 1997:7-8);

- Ana kütle değerlerine değil, kişisel gözleme dayanır,

- Farklı ölçü birimleri, çoklu girdi ve çoklu çıktı verileri aynı formülde hesaplanabilir,
- Dış kaynaklı değişkenlere uyum sağlanabilir,
- Parametrelere bağlı değildir, başlangıçta fiyat veya ağırlık bilgileri gerektirmez,
- Üretim ilişkilerinin herhangi bir fonksiyonunda sınırlama yoktur.

Çoklu girdi ve çoklu çıktı kullanılarak analiz yapılabilen VZA, önceden belirlenmiş herhangi bir fonksiyonel ilişkiye bağlı olmadan, her bir karar biriminin etkinsizliğini miktar ve kaynağı ile belirleme yeteneğine sahiptir (Bakırcı, 2006:167).

B. Veri Zarflama Analizi Modelleri

VZA analizinin tarihi; 1957’de ve 1978’de Journal of Operations Research’de yayınlanan makaleden esinlenerek yapılan Edwordo Rhodes’un Cornegie Mellon Üniversitesi’ndeki “Şehir ve Kamu” doktora tezi ile ortaya çıkmıştır. Dikkat izleme testlerine katılan ve katılmayan okulların etkinliklerinin karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan VZA günümüzde özel ve kamu sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

VZA modellerinden biri Charnes, Cooper, Rhodes tarafından araştırılıp bulunan ve isimlerin baş harfiyle oluşan CCR modeli, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı ile toplam etkinliği ölçmektedir.

Diğer bir VZA modeli olan Banker, Charnes, Cooper’ın çalışmaları ile ortaya konulan ve geliştirilen BBC modeli ise ölçeğe göre sabit değil değişken getiri ile benzer ölçekteki birimleri birbirleri ile karşılaştırarak sadece teknik etkinliği ölçmeye yaramaktadır.

C. Veri Zarflama Analizinin Kullanım Amaçları

Etkili bir performans değerlendirme sisteminin sonucunda bulunan bilgiler, yönetim için karar almada en değerli olan bilgilerdir. VZA’nın uygulama amaçları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (Altun, 2006:22);

- Karşılaştırılan girdi- çıktı boyutlarından elde edilen değerler ile birimdeki etkin olmayan kaynağın ve miktarının belirlenmesi,
- Karşılaştırılan birimlerin etkinliklerinin sınıflandırılabilmesi,
- Karşılaştırılan birimlerin yönetim şekillerinin değerlendirilebilmesi,
- Özel olan girdi-çıkıtı ilişkileri için yürürlükteki standartların gerçekleşen performansa göre incelenmesi ve gözden geçirilmesi ile önceki çalışmalar ile sonuçların karşılaştırılabilmesi

D. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Aşamaları

VZA ile etkinlik değerlendirmesinde üç aşama bulunmaktadır (Golany ve Roll, 1989:136);

- Analize tabi olacak karar birimlerinin tanımlanması ve seçilmesi,
- Seçilmiş olan karar birimlerinin göreceli olarak etkinliklerinin değerlendirilmesi için gerekli olan girdi ve çıktı faktörlerinin belirlenmesi,
- VZA modellerinin uygulanabilmesi ve sonuçların analiz edilmesi.

Karar birimlerinin seçilmesinde, iki çok önemli faktör bulunmaktadır. Bu önemli iki faktör; homojenlik ve karar birimi sayısıdır. Bu bilgiler ışığında (Ramanathan, 2003:173);

- Karar birimleri homojen olmalıdır,
- Karşılaştırılacak karar birimleri ile kıyaslanacak homojen birimlerinin sayısı uygulanacak VZA yönteminin amacına bağlı olarak değişmektedir.

Veriler arasında eksik, hatalı veya aşırı uç noktada olanlar, analiz sonucunda elde edilecek etkinlik puanını etkileyeceği için, bu tür veriler tespit edilip araştırma dışına çıkarılmalıdır. (Özata, 2004:101). Etkinlik hesaplamaları sonucunda her bir karar biriminin 0 ile 1 arasında etkinlik değeri elde edilir. 1’e eşit olan etkinlik değeri en iyi gözlem kümesini oluşturur. Etkinlik değeri eğer 1’den küçük ise karar birimleri göreceli olarak etkin kabul edilmezler. VZA’nın son aşamasında ise gözlem kümelerinde etkin olan ve olmayan karar birimleri için ortak olan sonuçlar elde edilmeye çalışılır. VZA modelinin etkin olabilmesi için girdi ve çıktı sayılarının çok sayıda olması istenir. (Demirtaş, 2005: 15).

E. Veri Zarflama Analizinin Güçlü Yönleri

- VZA, ekonomik teori ile desteklenmekte ve mutlak olarak değil göreceli etkinlik üzerine odaklanarak, çoklu girdi ve çıktıları formüle edebilme özelliği ile yaygın olarak kullanımına imkân sağlamıştır (Kontodimopoulos vd, 2007:39),
- VZA, ana kütleli ortalamasını almak yerine, en iyi olana göre performans değerlendirmesi yapar. Verilen her bir karar birimi için en iyi örnek ve sınır tanımlanır. Bu sınırlar doğrultusunda etkin veya etkin olmayan kararı verilir (Mok vd, 2007:74),
- Etkinlik ölçümünde kullanılan tekniklerin en önemli avantajlarından biri de az sayıda gözlem kümesi ile sonuca ulaşabilme özelliğidir (Pasiouras vd, 2008:12),

F. Veri Zarflama Analizinin Zayıf Yönleri

- Etkinlik skoru 1 olarak belirlenen bir karar biriminde etkinliğin mükemmel seviyede olduğu belirlenerek daha fazla arttırılmayacağı gibi algılar, performans artışındaki engellerden biri olarak karşımıza çıkabilir,
- Parametrik değerler kullanılmadığı için istatistiksel olarak gözlem farklarının açıklanabilmesi mümkün değildir (Pereira, 2006:90),
- VZA yöntemi modelleme hatalarına ve ölçüm hatalarına karşı hassastır (Hansson, 2007:4),
- VZA sadece ele alınan grup içerisinde bir sonuç sağlar. Grup dışında kalanların etkin bir karar birimi olabilme olasılığı göz ardı edilmektedir,
- Kalitatif girdi ve çıktı ölçüleri, elde edilen bulguları zayıflatabilmektedir,
- Ciddi öneme sahip girdi ve çıktıların küme dışı kalmaları sonucu, elde edilen bulgular yanıltıcı olabilmektedir,
- VZA, statik ve tek zaman kesitinde değerlendirilen modellerdir. Gerçek zamanla kıyaslama yapıldığında bazı karar birimlerinin etkinliği için süre gereklidir. Üretim süreci dinamik bir yapıdadır.

3. Gereç ve Yöntem

Araştırmamıza İstanbul'da bulunan Sağlık Bakanlığı'na bağlı ve girdi ve çıktı verilerine ulaşabildiğimiz 49 hastane dahil edilmiştir. Araştırmamızda yararlandığımız veriler Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumu tarafından 2015 yılında yayınlanan 2014 yılı Kamu Hastaneleri İstatistik Yıllığından elde edilmiştir. Hastanelerin 2014 yılı yatak, doktor, hemşire ve diğer personel sayıları girdi olarak, poliklinik, acil muayene, yatan hasta, yatılan gün ve ameliyat+doğum sayıları çıktı olarak değerlendirilmiştir. Girdi ve çıktı değerleri Max DEA 7 Basic programı ile ölçeğe göre değişen getiri varsayımına dayalı olan BCC (Banker, Charnes ve Cooper) modeli ile ve çıktıya yönelik veri zarflama analizine tabi tutulmuştur.

4. Bulgular

Araştırma kapsamına alınan 49 hastanenin 24'ü (% 49) verimli, 25'i (% 51) görel verimsiz bulunmuştur. Görel verimsiz bulunan hastanelerin verimlilik skorları 0,15 ile 0,99 arasında değişmektedir. Bu hastanelerin 14 tanesinin verimlilik skorları 0,90 ile 0,99 arasında, 6 hastanenin verimlilik skorları 0,80-0,89 arasında ve 5 hastanenin ise 0,15-0,76 arasında bulunmuştur. Hastanelerin 2014 yılı girdi ve çıktı değerleri ile yapılan verimlilik ölçümleri sonucu bulunan değerler tablo-1'de sunulmuştur.

Görel verimli bulunan hastanelerin tüm girdilerini ve tüm çıktılarını verimli kullandıkları değerlendirilmektedir. Bu nedenle görel verimli bulunan hastanelerle ilgili herhangi bir ileri değerlendirme yapılmaya gerek duyulmamaktadır.

Görel verimsiz bulunan hastanelerin hangi girdilerini gereksiz kullandıkları veya bu girdilerini verimsiz kullanmaları nedeniyle hangi çıktı miktarını ne kadar oranda az ürettikleri ile ilgili değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo-1 Hastanelerin 2014 yılı verimlilik skorları

HASTANE ADI	VERİMLİLİK SKORU	HASTANE ADI	VERİMLİLİK SKORU
KARTAL LÜTFİ KIRDAR EA.HST.	1,00	GAZİOSMANPAŞA TAKSİM EA HASTANESİ	0,99
HAYDARPAŞA NUMUNE EA HST.	1,00	FİZİK TEDAVİ VE REH. EA HASTANESİ	0,99
İ.MEDENİYET ÜNİV. GÖZTEPE EA HST.	1,00	DR.SADİ KONUK EA HST.	0,97
BAĞCILAR EA HASTANESİ	1,00	ARNAVUTKÖY DEVLET HASTANESİ	0,97
KANUNİ SULTAN SÜLEYMEN EA HST.	1,00	EYÜP DEVLET HASTANESİ	0,97
HASEKİ EA HASTANESİ	1,00	BEYKOZ DEVLET HASTANESİ	0,97
Z. KAMİL KADIN VE ÇOCUK HST. EA HST.	1,00	ÜMRANİYE EA HASTANESİ	0,96
M. OSMAN RUH SAĞ. HAST. EA HST.	1,00	FATİH SULTAN MEHMET EA HST.	0,94
REŞAT BELGER BEYOĞLU GÖZ EA HST.	1,00	M. SABANCI KEMİK HAST. EA HST.	0,94
YAKACIK DOĞ. VE ÇOCUK HAST. HST.	1,00	ERENKÖY RUH VE SİNİR HST. EA HST.	0,93
MESLEK HASTALIKLARI HASTANESİ	1,00	ÜSKÜDAR DEVLET HASTANESİ	0,91
ERENKÖY FTR HASTANESİ	1,00	MARMARA ÜN. PENDİK EA HST.	0,91
LEPRA DERİ VE ZÜHREVİ HAST. HST.	1,00	İSTİNYE DEVLET HASTANESİ	0,91
İSTANBUL PENDİK DEVLET HASTANESİ	1,00	YEDİKULE GÖĞ HAST. VE CERR. EA HST.	0,90
TACİRLER EĞT. VAKFI DEVLET HST.	1,00	SİLİVRİ DEVLET HASTANESİ	0,89
KAĞITHANE DEVLET HASTANESİ	1,00	İSTANBUL EA HASTANESİ	0,87
ESENYURT DEVLET HASTANESİ	1,00	KOŞUYOLU YÜKSEK İHTİSAS EA HST.	0,86
BAŞAKŞEHİR DEVLET HASTANESİ	1,00	MALTEPE DEVLET HASTANESİ	0,85
BAYRAMPAŞA DEVLET HASTANESİ	1,00	İLYAS ÇOKAY DEVLET HASTANESİ	0,80
SAİT ÇİFTÇİ DEVLET HASTANESİ	1,00	DR.SİYAMİ ERSEK GKDC EA HST.	0,80
İSMAİL AKGÜN DEVLET HASTANESİ	1,00	M.AKİF ERSOY GKDC CERRAHİSİ EA HST.	0,76
SİLİVRİ CEZA İNFAZ KURUMU DEV.HST.	1,00	MURAT KÖLÜK DEVLET HASTANESİ	0,62
LÜTFİYE NURİ BURAT DEVLET HASTANESİ	1,00	SÜREYYAPAŞA GÖĞ.HST.VE CERR.EA HST.	0,56
ŞİLE DEVLET HASTANESİ	1,00	BAHÇELİEVLER DEVLET HASTANESİ	0,29
		ESENLER KAD. DOĞ. VE ÇOCUK HAST. HST.	0,15

Bu kapsamda; tablo-2’de bulunan 9 hastane mevcut 2905 yatağının 391 tanesini kullanmayarak aynı miktarda çıktı üretebilirdi. Bir başka deyişle bu hastanelerdeki 391 yatak için yapılan tüm giderler gereksiz yapılmıştır. Bu hastaneler 2905 açık yatak bulundurmak yerine 2514 yatak ile de aynı miktarda hastaya hizmet verebilirlerdi.

Tablo-2 Yatak Girdilerini Verimsiz Kullanan Hastaneler

Hastane Adı	Verimlilik Skoru	Yatak Sayısı	Fazla Girdi Miktarı	Optimum Girdi Miktarı
DR.SADİ KONUK EA HST.	0,97	612	-82	530
ARNAVUTKÖY DEVLET HASTANESİ	0,97	201	-24	177
FATİH SULTAN MEHMET EA HST.	0,94	300	-6	294
ÜSKÜDAR DEVLET HASTANESİ	0,91	263	-88	175
İSTİNYE DEVLET HASTANESİ	0,91	128	-10	118
SİLİVRİ DEVLET HASTANESİ	0,89	223	-29	194
DR.SİYAMİ ERSEK GKDC EA HST.	0,80	525	-64	461
SÜREYYAPAŞA GÖĞÜS HST.VE GÖĞ.CERR.EA.HST.	0,56	503	-15	488
ESENLER KADIN DOĞ. VE ÇOCUK HST. HAST.	0,15	150	-73	77
TOPLAM		2.905	-391	2514

Tablo-3’de bulunan 16 hastane mevcut 2724 doktorun 644 tanesini kullanmayarak aynı miktarda çıktı üretebilirdi. Bir başka deyişle bu hastanelerdeki 644 doktor gereksiz istihdam edilmiştir. Bu hastaneler 2724 doktor bulundurmak yerine 2080 doktor ile de aynı miktarda hastaya hizmet verebilirlerdi.

Tablo-3 Doktor Girdilerini Verimsiz Kullanan Hastaneler

Hastane Adı	Verimlilik Skoru	Doktor Sayısı	Fazla Girdi Miktarı	Optimum Girdi Miktarı
GAZİOSMANPAŞA TAKSİM EA HASTANESİ	0,99	187	-31	156
DR.SADİ KONUK EA HST.	0,97	321	-79	242
ARNAVUTKÖY DEVLET HASTANESİ	0,97	87	-3	84
EYÜP DEVLET HASTANESİ	0,97	90	-13	77
BEYKOZ DEVLET HASTANESİ	0,97	149	-43	106
ÜMRANİYE EA HASTANESİ	0,96	230	-63	167
FATİH SULTAN MEHMET EA HST.	0,94	202	-59	143
M. SABANCI KEMİK HST. EA HAST.	0,94	89	-15	74
ÜSKÜDAR DEVLET HASTANESİ	0,91	138	-55	83
MARMARA ÜN. PENDİK EA HST.	0,91	324	-79	245
İSTİNYE DEVLET HASTANESİ	0,91	83	-29	54
YEDİKULE GÖĞÜS HST. VE GÖĞ.CERR. EA HAST.	0,90	109	-11	98
İSTANBUL EA HASTANESİ	0,87	281	-59	222
DR.SİYAMİ ERSEK GKDC EA HST.	0,80	183	-66	117
MEHMET AKİF ERSOY GKD CERRAHİSİ EA HAST.	0,76	127	-16	111
SÜREYYAPAŞA GÖĞÜS HST.VE CERR.EA.HST.	0,56	124	-23	101
TOPLAM		2724	-644	2.080

Tablo-4’de bulunan 18 hastane mevcut 4.786 hemşirenin 1.338 tanesini kullanmayarak da aynı miktarda çıktı üretebilirdi. Bir başka deyişle bu hastanelerdeki 1.338 hemşire gereksiz istihdam edilmiştir. Bu hastaneler 4.786 hemşire bulundurmak yerine 3.448 hemşire ile de aynı miktarda hastaya hizmet verebilirlerdi.

Tablo-4 Hemşire Girdilerini Verimsiz Kullanan Hastaneler

Hastane Adı	Verimlilik Skoru	Hemşire Sayısı	Fazla Girdi Miktarı	Optimum Girdi Miktarı
GAZİOSMANPAŞA TAKSİM EA HASTANESİ	0,99	402	-70	332
FİZİK TEDAVİ VE REH. EA HASTANESİ	0,99	103	-27	76
BEYKOZ DEVLET HASTANESİ	0,97	229	-36	193
ÜMRANİYE EA HASTANESİ	0,96	597	-99	498
FATİH SULTAN MEHMET EA HST.	0,94	288	-33	255
ERENKÖY RUH VE SİNİR HST. EA HST.	0,93	132	-50	82
ÜSKÜDAR DEVLET HASTANESİ	0,91	201	-73	128
İSTİNYE DEVLET HASTANESİ	0,91	94	-12	82
YEDİKULE GÖĞÜS HST. VE GÖĞ.CERR. EA HAST.	0,90	212	-41	171
SİLVİRİ DEVLET HASTANESİ	0,89	174	-23	151
İSTANBUL EA HASTANESİ	0,87	513	-15	498
KARTAL KOŞUYOLU YÜKSEK İHTİSAS EA HST.	0,86	427	-179	248
MALTEPE DEVLET HASTANESİ	0,85	42	-5	37
ÇATALCA İLYAS ÇOKAY DEVLET HASTANESİ	0,80	83	-42	41
DR.SİYAMİ ERSEK GKDC EA HST.	0,80	429	-214	215
MEHMET AKİF ERSOY GKD CERRAHİSİ EA HAST.	0,76	485	-306	179
SÜREYYAPAŞA GÖĞÜS HST.VE GÖĞ.CERR.EA.HST.	0,56	295	-97	198
ESENLER KADIN DOĞ. VE ÇOCUK HST. HAST.	0,15	80	-16	64
TOPLAM		4.786	-1.338	3.448

Tablo-5’de bulunan 11 hastane mevcut 9.350 diğer personelin 1.720 tanesini kullanmayarak da aynı miktarda çıktı üretebilirdi. Bu hastanelerdeki 1.720 diğer personel gereksiz istihdam edilmiştir. Tablo-5’de bilgileri verilen hastaneler 9.350 diğer personel bulundurmak yerine 7.630 personel ile de aynı miktarda hastaya hizmet verebilirlerdi.

Tablo-5 Diğer Personel Girdilerini Verimsiz Kullanan Hastaneler

Hastane Adı	Verimlilik Skoru	Diğer Per. Sayısı	Fazla Girdi Miktarı	Optimum Girdi Miktarı
GAZİOSMANPAŞA TAKSİM EA HASTANESİ	0,99	1.297	-254	1.043
FİZİK TEDAVİ VE REH. EA HASTANESİ	0,99	319	-59	260
DR.SADİ KONUK EA HST.	0,97	1.717	-22	1.695
ÜMRANİYE EA HASTANESİ	0,96	1.744	-481	1.263
BALTALİMANI METİN SABANCI KEMİK HST. EA HAST.	0,94	410	-13	397
ERENKÖY RUH VE SİNİR HST. EA HST.	0,93	364	-83	281
MARMARA ÜN. PENDİK EA HST.	0,91	2.188	-635	1.553
ÇATALCA İLYAS ÇOKAY DEVLET HASTANESİ	0,80	211	-57	154
AVCILAR MURAT KÖLÜK DEVLET HASTANESİ	0,62	341	-27	314
BAHÇELİEVLER DEVLET HASTANESİ	0,29	481	-22	459
ESENLER KADIN DOĞ. VE ÇOCUK HST. HAST.	0,15	278	-67	211
TOPLAM		9.350	-1.720	7.630

5. Sonuç

Sonuç olarak, göreceli verimsiz bulunan hastanelerin toplamda 391 yatak, 644 doktor, 1338 hemşire ve 1720 diğer personel girdisini gereksiz kullandıkları görülmektedir.

Göreceli verimsiz bulunan hastanelerin kaynaklarını verimsiz kullanmaları nedeniyle hangi çıktılarını ne oranda eksik ürettikleri incelendiğinde, hastanelerin mevcut kaynaklarıyla 1.006.420 poliklinik muayenesi, 1.494.270 acil poliklinik muayenesi, 60.862 hastayı yatırarak tedavi hizmeti ve 49.166 gün hasta yatırma, 122.694 ameliyat ve doğum gerçekleştirme kapasitelerini kullanmamışlardır.

Hastane yönetimlerinin yeterli yönetsel becerilere sahip olmaması, hastanelerde mevcut kaynakların (yatak ve personel) etkin kullanılmayarak, hizmet ihtiyacı olan hastaların sağlık hizmetlerine ulaşımı problemlerine (hizmet alamama, sıra bekleme gibi) neden olmaktadır.

Sağlık ve hastane yöneticileri, hastanelerinde iş etüdü, kadro analizi, insan gücü planlaması gibi personel performans değerlendirme çalışmaları yaparak ve ayrıca etkin bir randevu, yatak ve ameliyathane planlaması ile mevcut kaynaklarını daha etkin kullanabilirler ve sağlık hizmetleri üretimlerini artırarak toplumun sağlık hizmetleri ihtiyaçlarını daha yüksek oranda karşılayabilirler.

Kaynaklar

- Altun, D. (2006), *Türk Telekomünikasyon A.Ş. İl Telekom Müdürlüklerinin Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Ölçümü*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Bakırcı, F., (2006), *Üretimde Etkinlik ve Verimlilik Ölçümü, Veri Zarflama Analizi, Teori ve Uygulama*, Atlas Yayınları, İstanbul.
- Bakırcı, F., (2007), “Firma Etkinliğini Etkileyen Faktörler: Türk Tekstil Sektöründe Bir VZA ve Tobit Model Uygulaması”, *EKEV Akademi Dergisi*, 11 (30).
- Bakırcı, M., (2012), “Ulaşım coğrafyası açısından Türkiye’de havayolu ulaşımının tarihsel gelişimi ve mevcut yapısı”, *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı: 25, İstanbul.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., Seiford, L.M., (1997), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Application*, Kluwer Academic Publishers, USA.127
- Chu, M.T., Shyu, J.Z., Khosia, R., (2008), “Measuring The Relative Performance For Leading Fables Firms by Using Data Envelopment Analysis”, [Önemli Firmaların Göreceli Performanslarının Veri Zarflama Analizi Kullanarak Ölçümü], *Journal of Intelligent Manufacturing*
- Golany, B. Roll, Y., (1989), “An Application Procedure For DEA”, [VZA İçin Bir Uygulama Prosedürü], *International Journal of Management Science*, 17 (3).
- Hansson, H.(2007), “The Links Between Management’s Critical Success Factors and Farm Level Economic Performance on Dairy Farms in Sweden”, [İsveç’teki Süt Endüstrisinde Yönetimin Kritik Başarı Faktörleriyle Tarıma Dayalı Ekonomik Performans Arasındaki İlişki], *Food Economics, Acta Agriculturae Scandinavica Section C*, 4.
- Demirci, A, (2012), OECD Üyesi Ülkelerin Ekonomik Ve Sosyal Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Belirlenmesi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Erzurum
- Kontodimopoulos, N., Moschovakis G., Aletras V., Niakas D., (2007), “The Effect of Environmental Factors on Technical and Scale Efficiency of Primary Health Care Providers in Greece”, [Çevresel Koşulların Yunanistan’daki Temel Sağlık Sektörünün Teknik ve Ölçek Etkinlikleri Üzerindeki Etkinleri], *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, BioMed Central Publishes.
- Kula, V., Özdemir L, (2007), “Çimento Sektöründe Göreceli Etkinsizlik Alanlarının Veri Zarflama Analizi Yöntemi İle Tespiti”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, IX (1).
- Demirtaş, S., (2005), Veri Zarflama Analizi İle Kişisel Bilgisayar Donanımlarının Performans Ölçümünün, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Adana.
- Mok, V., Yeung G., Han Z., Li Z., (2007), “Leverage, Technical Efficiency and Profitability: An Application of DEA to Foreign-Invested Toy Manufacturing Firms in China”, [Zorlama, Teknik Etkinlik ve Karlılık: Yabancı Yatırımlı Çin Oyuncak Endüstrisinde VZA Uygulaması], *Journal of Contemporary China*, 16 (51).
- Özata, M., (2004), Sağlık Bilişim Sistemlerinin Hastane Etkinliğinin Artırılmasında Yeri ve Önemi (Veri Zarflama Analizine Dair Bir Uygulama), (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Konya.
- Pereira, A., (2006), *Economics of Scale in Blood Banking: A Study Based on Data Envelopment Analysis*, Vox Sanguinis, 90.
- Pasiouras, F., Liadaki A., Zopounidis C., (2008), “Bank Efficiency and Share Performance: Evidence From Greece”, [Banka Etkinliği ve Hisse Senedi Performansı: Yunanistan Örneği], *Applied Financial Economics*, 18.
- Barkey J. B., (2002). Gaining and sustaining Competitive Advantage. New Jersey: Prentice Hall, p.26-27.
- Bingöl D., (2003). İnsan Kaynakları Yönetimi, Beta Yayınları, 5. Bası, İstanbul, s.273.
- Gencer H., (2006). “Genel İşletme Performansı ve Finansal Performans İlişkisi - Çimento Sektöründe Bir Uygulama”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gaziantep.
- Kenger, E., (2001). Denetçi Yardımcıları Eğitim Notu, s.38-43.(http://www.ydk.gov.tr/egitim_notlari/denetim.htm)
- Pervaiz K.A., Kwang K.L., Mohammed Z., (1999). “Measurement Practice for Knowledge Management. Journal of Workplace Learning: Employee Courselling Today”, Volume II, Number 8, MCB University Pres, s.305-307.



Çavdarda (*Secale cereale* L.) Anter Kültüründe Kallus Oluşumu ve Bitkicik Rejenerasyonu Üzerine Genotip, Soğuk Uygulama ve Besin Ortamlarının Etkisi

Nüket Altındal^{1*}, İlknur Akgün²

¹Uşak Üniversitesi, Sivaslı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, Uşak/Türkiye (ORCID: 0000-0002-9567-1653)

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Isparta/Türkiye (ORCID: 0000-0002-7476-72269)

(İlk Geliş Tarihi 24 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 8 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.581763)

ATIF/REFERENCE: Altındal, N. & Akgün, İ. (2019). Çavdarda (*Secale cereale* L.) Anter Kültüründe Kallus Oluşumu ve Bitkicik Rejenerasyonu Üzerine Genotip, Soğuk Uygulama ve Besin Ortamlarının Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 559-566.

Öz

Bu çalışmada, çavdarda genotipin(diploid ve tetraploid), ön işlem (+4 °C'de 1 hafta süre ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış) ve besin ortamlarının (MS, N₆ ve NN) anter kültüründe anter tepki oranı, kallus oluşumu ve yeşil bitkicik rejenerasyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Denemede kallus oluşum ortamı olarak MS ortamında 10 g/L agar, NN ortamında 8 g/L agar kullanılmış, ayrıca her iki ortama 2,4 µmol/L Kinetin, 4,4 µmol/L BAP, 2,7 µmol/L NAA ve karbon kaynağı olarak 30,3 g/L sükröz ilave edilmiştir. N₆ ortamına ise 5 g/L agar, 2 mg/L 2,4-D, 0,5 mg/L Kinetin, 1 mg/L IAA ve 90 g/L sükröz ilave edilmiştir. Rejenerasyon ortamı olarak, kallus oluşum ortamı olan MS ve NN ortamları aynı kalmış ancak modifiye edilmiş N₆ ortamına 2 g/L aktif karbon, karbon kaynağı olarak 20 g/L sükröz, hormon olarak 2 mg/L kinetin, katılaştırıcı madde olarak da 5 g/L agar eklenmiştir. Araştırmada soğuk ön işlem uygulamasının anter tepki oranı ve kallus büyüklüğü üzerine olumsuz, kallus oranı ve kök oluşumu üzerine olumlu etkisi belirlenmiştir. Diğer taraftan soğuk ön uygulamasının incelenen özellikler üzerine etkisi çavdar genotiplerinde farklılık göstermiş ve özelliklerden anter tepki oranı hariç önemli bulunmuştur. Besin ortamlarının kallus oranı ve büyüklüğü üzerine etkisi önemli olurken, anter tepki oranı üzerine etkisi önemsiz olmuştur. En fazla kök oluşumu ve bitki rejenerasyonu soğuk uygulamalı diploid çavdar anterlerinin MS ortamında kültüre alınması ile elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Anter kültürü, *in vitro*, kallus, çavdar.

Kısaltmalar

(2,4-D): 2,4 dikloro fenoksi asetik asit

(IAA): Indol-3 asetik asit

(BAP): Benzil amino pürin

(KIN): Kinetin

(MS): Murashige ve Skoog besi ortamı

(NAA): Naftalin asetik asit

(NN): Nitsch ve Nitsch besi ortamı

(N₆): N₆ besi ortamı

(µmol): Mikromol

¹ Sorumlu Yazar: Uşak Üniversitesi, Sivaslı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, Uşak/Türkiye, ORCID: 0000-0002-9567-1653, nuketaltindal@gmail.com

The Influence of Genotype, Pre-Chilling and Nutrient Media on Callus Induction and Plantlet Regeneration in Rye (*Secale cereale* L.) Anther Culture

Abstract

The present study investigated the effects of genotypes (diploid and tetraploid), of pre-treatment (cold treatment within one week at 4°C and non-cold treatment) and nutrient media (MS, N₆ and NN) on anther response ratio, callus induction and green plantlet regeneration in anther culture of rye. In our experiment, the MS medium (consisting of 10 g/L of agar), NN medium (consisting of 8 g/L agar) and N₆ medium (consisting of 5 g/L of agar) were used for callus formation, MS and NN media supplemented with 2.4 µmol/L of KIN, 4.4 µmol/L of BAP and 2.7 µmol/L of NAA as hormone and 30.3 g/L of sucrose as carbon source. Additionally, N₆ medium supplemented with 2 mg/L 2,4-D, 0.5 mg/L KIN, 1 mg/L IAA as hormone and 90 g/L sucrose as carbon source. Two media (MS and NN) used for callus formation were the same for plantlet regeneration, however N₆ media was modified and included 2 mg/L KIN, 2 g/L activated charcoal, 20 g/L sucrose and 5 g/L agar. Our study demonstrated the negative effect of pre-chilling on anther response ratio and callus size, but it also showed that the positive effect on callus ratio and root formation. On the other hand, effect of pre-chilling on investigated characters changed according to rye genotypes and was significant (except for anther response ratio). While effect of nutrient media on callus ratio and size was significant, it was not significant on anther response ratio. The highest root and plantlet regeneration ratio were obtained as a result of cultured on MS media of pre-chilled anthers in diploid rye.

Keywords: Anther culture, *in vitro*, callus, rye.

Abbreviations

(2,4-D): 2,4-dichlorophenoxyacetic acid
(IAA): Indole-3 acetic acid
(BAP): Benzyl amino purine
(KIN): Kinetin
(MS): Murashige and Skoog nutrient medium
(NAA): Naphthalene acetic acid
(NN): Nitsch and Nitsch nutrient medium
(N₆): N₆ nutrient medium
(µmol): Micromol

1. Giriş

Anter kültürü, haploid veya double haploid bitkileri elde etmek için kullanılan metotlardan birisidir (Mishra ve Goswami, 2014; Plamenov, Belehev, Daskalova, Spetsov, ve Moraliyski, 2013; Qi, Ye, ve Bao, 2011). Anter kültürü ile double haploidlerin hızlı üretimi bitki ıslahında genetik ilerleme için önemli ve ümit verici bir yöntemdir (Islam ve Tuteja, 2012). Double haploid (DH) bitkilerin kullanılmasıyla genetik ve ıslah çalışmaları hızlanmakta, kolaylaşmakta (Başer, Korkut, Bilgin, ve Balkan, 2016) ve yapılan çalışmalarda kısa zamanda seleksiyon etkinliğini artırmak ve homozigotluğu sağlamak için arpa (Çelikaş ve Hatipoğlu, 1997), triticale (Eudes ve Amundsen, 2005; González ve Jouve, 2000), buğday (De Buyser, Henry, Lonnet, Hertzog, ve Hespel, 1987) ve çavdar (Khanna ve Raina, 1998; Ma, Guo, ve Pulli, 2004; Ponitka ve Ślusarkiewicz-Jarzina, 2004; Trejo-Tapia vd., 2002) gibi kendine ve yabancı tozlaşan tahılların ıslah programlarında kullanılmıştır. *In vitro* double haploid üretimi büyük oranda genotipe bağlıdır (Begheyn, Lübberstedt, ve Studer, 2016). Çavdar doku kültürü çalışmalarında (Bazylewska, Broda, Mikołajczyk, ve Pluta, 2015; Targońska, Hromada-Judycka, Bolibok-Bragoszewska, ve Rakoczy-Trojanowska, 2013; Zimny ve Michalski, 2019) özellikle anter veya mikrospor kültürü yoluyla double haploidlerin üretiminde en zorlayıcı türlerden birisi (Mikołajczyk, Broda, ve Weigt, 2012) olup, çavdarda double haploidlerin üretimini arttırmak için farklı çalışmalar yapılmıştır (Immonen, 1999; Immonen ve Anttila, 1999). Çavdarda anter kültüründe yaşanan sorunlar düşük bitki rejenerasyonu ve yüksek albino oranıdır (Ma vd., 2004). Genotip (Jäger, Bartók, Örtög, ve Barnabás, 2010; Oleszczuk, 2013; Tenhola-Roininen, 2009), soğuk ön işlem uygulaması (Plamenov vd., 2013) ve besin ortamının kompozisyonu (Finnie, Powell, ve Dyer, 1989; Saidi, Cherkaoui, Chlyah, ve Chlyah, 1997; Silva, 2010; Trejo-Tapia vd., 2002) gibi bazı faktörlerin androgenik embriyo oluşumu üzerine etkili olduğu bildirilmiştir.

Bu çalışmada diploid ve tetraploid çavdar genotiplerinde uygulanabilir, etkili ve güvenilir anter kültürü yöntemini geliştirmek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitki Materyali

Bu çalışmada, farklı ploidi seviyesine sahip (diploid ve tetraploid) tarla şartlarında yetiştirilen çavdar (*Secale cereale* L.) genotiplerine ait başaklar kullanılmıştır. Her genotipe ait başak örnekleri toplandıktan sonra bayrak yaprak hariç tüm yaprak aksamları uzaklaştırılmış ve plastik bir kapla örtülüp 1 haftalık sürede sapsarıyla birlikte su içinde karanlıkta +4 °C’de bekletilmiştir. Kalan diğer yarısında anterler direk besin ortamına yerleştirilmiştir (Akgün ve Altındal, 2015).

Başaklara %0.5 Tween 80 ve %1.2’lik sodyum hypoklorit içeren solusyonda 20 dakikalık çalkalama ile yüzey sterilizasyonu yapılmıştır. Daha sonra bu başaklar steril suda 5 defa yıkanmıştır. Başağın orta kısmında bulunan anterler steril petri kaplarında başakçıklardan rastgele çıkarılmıştır. Farklı uygulamalar yapılan anterler farklı kültür ortamları içeren her petri kabında (9 cm) 10 adet olacak şekilde kültüre alınmış (Immonen ve Anttila, 1998) ve her uygulama 20 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Anter Kültürü

Denemede kallus oluşum ortamı olarak modifiye edilmiş kültür ortamları kullanılmış ve ortamlarla ilgili bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan kallus oluşum ortamları

Besin ortamı	Hormon	Sükroz (g/L)	Agar (g/L)
MS (Dedicova, Obert, Zofajova, Matusik, ve Pretova, 1999)	2.4 µmol/L KIN	30.3	10
	4.4 µmol/L BAP		
	2.7 µmol/L NAA		
N ₆ (Flehinghaus, Deimling, ve Geiger, 1991)	2 mg/L 2.4-D	90	5
	0.5 mg/L KIN		
	1 mg/L IAA		
NN (Dedicova vd., 1999)	2.4 µmol/L KIN	30.3	8
	4.4 µmol/L BAP		
	2.7 µmol/L NAA		

Rejenerasyon ortamı olarak kullanılan ve Tablo 1’de verilen modifiye edilmiş MS ve NN ortamları aynı kalmış, ancak N₆ ortamı 2 g/L aktif karbon, 20 g/L sükroz, 2 mg/L kinetin ve 5 g/L agar ilave edilerek değiştirilmiştir (Flehinghaus vd., 1991).

Besin ortamlarının pH’ı otoklavdan (15 dakika, 121 °C, 20 psi) önce 5,8’e ayarlanmıştır. Öncelikle tüm uygulamalarda anterler karanlıkta 25 °C’de (Flehinghaus vd., 1991) 4 hafta tutulmuş (Gürel, Tosun, ve Demir, 1993) ve ardından aydınlık ortama (22-25 °C) 14 hafta süreyle konulmuştur. Daha sonra anterlerin kallus oluşturabilme yetenekleri değerlendirilmiş ve oluşan kalluslar rejenerasyon için cam deney tüplerinde (14 cm boy, 2,5 cm çap) 22-25°C’de 4 ay süreyle (Flehinghaus vd., 1991) 16 saat gündüz / 8 saat karanlık fotoperiyodunda (Gürel, 1994) 2000-2200 lüks ışık altında (Gürel vd., 1993) tutulmuştur.

2.3. Gözlemler ve İstatistiksel Analizler

Denemede ele alınan faktörlerin anter tepki oranı, kallus oranı ve büyüklüğü ile yeşil bitkicik rejenerasyonu oranı üzerine etkileri incelenmiştir. Herbir anterin tepki oranı, kallus oluşturabilme yeteneği ve kalluslardan meydana gelen yeşil rejenerantların oranı %’de olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Kallus büyüklüğü dijital kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Her bir pedri içinde yer alan 10 adet anter uygulama olarak değerlendirilmiş ve 20 tekerrür üzerinden analizler yapılmıştır.

Araştırma, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre düzenlenmiş, incelenen özelliklerden anter tepki oranı, kallus oranı ve kallus büyüklüğünden elde edilen veriler SAS programında analiz edilmiştir. Önemli bulunan farklılıkların MSTAT-C programında Duncan çoklu karşılaştırma testi ile kontrolü yapılmıştır.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

3.1. Anter tepki oranı

Ön işlem olarak soğuk uygulaması anter tepki oranını istatistiksel olarak önemli seviyede azaltmıştır. Soğuk uygulanmayan işlemde anter tepki oranı %74.92 iken, soğuk uygulamasına tabi tutulalarda %71.00 olmuştur. Anter tepki oranı yönünden genotipin etkisi önemli olmamasına rağmen en yüksek anter tepki oranı diploidlerde (%74.83) belirlenmiştir. Denemede kullanılan farklı ortamlara göre anter tepki oranları modifiye edilmiş MS ortamında %76.38, N₆ ortamında %72.25 ve NN ortamında %70.25 olarak belirlenmiştir. Ancak bu farklılıklar istatistiksel olarak önemli olmamıştır.

Farklı ploidi seviyesine sahip anterlerin ön işlem uygulamalarına tepkisiönemli derecede farklılık göstermiştir ($p<0.01$). Nitekim en fazla anter tepki oranı diploidlerde ön üşütme yapılan uygulamalarda (%76.67), tetraploidlerde ise ön üşütme yapılmayanlarda (%76.83) belirlenmiştir (Tablo 2). Farklı ploidi seviyesine sahip genotiplerin farklı besin ortamlarındaki tepkileri benzer olmuş ve genotip x besin ortamı interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Ancak ön işleme bağlı olarak farklı besin ortamlarından elde edilen değerler istatistiki olarak farklılıklar göstermiştir ($p<0.01$). En yüksek anter tepki oranı (%80.50) soğuk uygulama yapılmış MS ortamından elde edilmiş, ve ön işlem uygulanan N6 ve NN ortamlarından farklı bulunmuştur ($p<0.01$). Ancak soğuk uygulamaz anterlerde en yüksek anter tepki oranı N6 ortamında belirlenmiş olsa da (%78.00), bu değer ile diğer ortamlar arasındaki fark önemli olmamıştır (Tablo 2). Tüm faktörlerin birlikte interaksyonu anter tepki oranı bakımından önemsiz olmuş, bununla ilgili veriler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2 Çavdarda ön işlem, genotip ve besin ortamlarının anter tepki oranı üzerine etkisi.

Genotip		Besin ortamı			
Ön işlem		MS	N6	NN	Ortalama
Diploid	Soğuk uygulamalı	85.00	75.00	70.00	76.67a
	Soğuk uygulamaz	70.00	80.00	69.00	73.00ab
	Ortalama	77.50	77.50	69.50	74.83
Tetraploid	Soğuk uygulamalı	76.00	58.00	62.00	65.33b
	Soğuk uygulamaz	74.50	76.00	80.00	76.83a
	Ortalama	75.25	67.00	71.00	71.08
ORTALAMA		76.38	72.25	70.25	
Ön işlem		MS	N6	NN	Ortalama
Soğuk uygulamalı		80.50 A	66.50 B	66.00 B	71.00
Soğuk uygulamaz		72.25 AB	78.00 AB	74.50 AB	74.92

İtalik koyu küçük harf: Genotip x Ön işlem Koyu büyük harf: Ön işlem x Besin ortamı

3.2. Kallus oranı (%)

Kallus oranı üzerine genotipin ve ön işlemin etkisi önemsiz iken, farklı besin ortamlarının etkisi önemli olmuştur ($p<0.01$). Kallus oluşturan anter oranı bakımından diploid ve tetraploidlerde birbirine yakın değerler elde edilmiştir (diploidlerde %12.58, tetraploidlerde %12.92). Soğuk ön işlem uygulanan anterlerde kallus oranı %15.67, soğuk uygulanmayanlarda ise %9.83 olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Farklı kültür ortamlarında bulunan anterlerin kallus oluşturabilme kapasitesi değişiklik göstermiş, en yüksek kallus oranı NN ortamında (%18.00) belirlenmiş ve diğer uygulamalar (N6 %11.38; MS %8.88) arasındaki fark önemli olmuştur (Tablo 3). Araştırmada kallus oranı üzerine ön işlem x besin ortamı interaksyonu önemli bulunmuş ve ön işlem olarak soğuk uygulanan anterlerin NN ortamında kallus oluşturabilme yetenekleri daha fazla olmuş (%23.50), en düşük ise ön üşütme yapılmayan MS ve N6 ortamlarında olmuştur (%8.50). (Tablo 3). Üç farklı faktörün birlikte kallus oranı üzerine etkisi önemsiz olmuş ve elde edilen değerler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Çavdarda ön işlem, genotip ve besin ortamlarının kallus oranı üzerine etkisi.

Genotip		Besin ortamı			
Ön işlem		MS	N6	NN	Ortalama
Diploid	Soğuk uygulamalı	10.50	14.50	20.00	15.00
	Soğuk uygulamaz	9.50	7.00	14.00	10.17
	Ortalama	10.00	10.75	17.00	12.58
Tetraploid	Soğuk uygulamalı	8.00	14.00	27.00	16.33
	Soğuk uygulamaz	7.50	10.00	11.00	9.50
	Ortalama	7.75	12.00	19.00	12.92
ORTALAMA		8.88b	11.38b	18.00a	
Ön işlem		MS	N6	NN	Ortalama
Soğuk uygulamalı		9.25 C	14.25B	23.50A	15.67
Soğuk uygulamaz		8.50C	8.50C	12.50 BC	9.83

Koyu küçük harf: Besin ortamı Koyu büyük harf: Ön işlem x Besin ortamı

3.3. Kallus büyüklüğü (mm)

Denemede ele alınan faktörlerden besin ortamı kallus büyüklüğünü önemli seviyede değiştirmiştir ($p<0.05$). Ön işlem uygulaması ve genotipin kallus büyüklüğü üzerine etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Genotiplere göre kallus büyüklüğü diploidlerde 2.92 mm;

tetraploidlerde ise 3.05 mm olarak belirlenmiştir. Ön işlem uygulaması durumunda kallus büyüklüğü 2.87 mm; uygulanmayanlarda ise 3.11 mm olmuştur. Kallus büyüklüğü N6 (3.14 mm) ve NN (3.09 mm) besin ortamlarında aynı grupta yer alırken, MS ortamında (2.74 mm) farklılık göstermiştir (Tablo 4). Kallus büyüklüğü ön işlem uygulamasına göre farklı ploidi seviyesine sahip genotiplerde değişkenlik göstermiş, diploidlerde soğuk uygulaması kallus büyüklüğünü olumlu yönde etkilemiş (soğuk uygulananlarda 3.32 mm; uygulanmayanlarda 2.54 mm), tetraploidlerde ise soğuk uygulaması kallus büyüklüğünü önemli seviyede azaltmıştır (soğuk uygulananlarda 2.43 mm; uygulanmayanlarda 3.68 mm) (Tablo 4). Farklı besin ortamlarında diploid ve tetraploid genotiplerin anterlerinden meydana gelen kallusların büyüklüğü farklılık göstermiş ve genotip x besin ortamı etkileşimi önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Tetraploidlerde N6 ve NN besin ortamında (sırasıyla 3.22 mm ve 3.42 mm) kallus büyüklüğü MS ortamına (2.52 mm) göre önemli derecede farklı bulunmuştur. Diploidlerde ise kültür ortamlarının etkisi benzer olmuştur (Tablo 4). Araştırma sonuçları besin ortamı ve ön işlem uygulaması olarak değerlendirildiğinde; besin ortamı x ön işlem etkileşimi önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Soğuk uygulandığında N6 ve NN besin ortamları rakamsal olarak daha iyi sonuç vermiş (sırasıyla 3.43 mm; 3.20 mm), ancak ön uygulama yapılmadığında da elde edilen sonuçlara benzer olmuştur (Tablo 4). Denemede ele alınan tüm faktörlerin etkileşimi istatistiksel olarak önemli derecede farklılık göstermiştir ($p<0.01$) (Tablo 4).

Tablo 4. Çavdarda ön işlem, genotip ve besin ortamlarının kallus büyüklüğü üzerine etkisi.

Genotip	Ön işlem	Besin ortamı			Ortalama
		MS	N6	NN	
Diploid	Soğuk uygulamalı	2.42 cd	4.05 a	3.49 ab	3.32 a
	Soğuk uygulamasız	3.51 ab	2.08 cd	2.02 cd	2.54 b
	Ortalama	2.96 ABC	3.07 ABC	2.75 BC	2.92
Tetraploid	Soğuk uygulamalı	1.56 d	2.82 bc	2.90 bc	2.43 b
	Soğuk uygulamasız	3.47 ab	3.63 ab	3.95 a	3.68 a
	Ortalama	2.52 C	3.22 AB	3.42 A	3.05
ORTALAMA		2.74 b	3.14 a	3.09 a	
	Ön işlem	MS	N6	NN	Ortalama
	Soğuk uygulamalı	1.99 B	3.43 A	3.20 A	2.87
	Soğuk uygulamasız	3.49 A	2.85 A	2.98 A	3.11

İtalik koyu küçük harf: Genotip x Ön işlem Koyu küçük harf: Besin ortamı Büyük harf: Genotip x Besin ortamı
Küçük harf: Genotip x Ön işlem x Besin ortamı Koyu büyük harf: Ön işlem x Besin ortamı

3.4. Kök oluşumu ve bitkicik rejenerasyonu

Ölçüm yapılan kalluslar 3 farklı besin ortamı içeren cam tüplere aktarılmış ve her tüp içerisine 1 adet kallus konulmuştur. Başlangıçta ön uygulama yapılmamış diploid genotiplerde kalluslardan kök oluşumu sadece N6 ortamında belirlenmiş (%13.79), diğer ortamlarda (MS ve NN) kök gelişimi gözlenmemiştir. Tetraploidlerde ise kök oluşumu NN besin ortamında ortaya çıkmış (%1.85), ancak diğer MS ve N6 ortamlarında kök gelişimi meydana gelmemiştir. Soğuk ön işlem uygulanmış diploid çavdar anterlerinden oluşan kalluslar tüm besin ortamlarında kök oluşumu meydana getirmiş ve kök oluşumu en yüksek MS ortamında (%57.89) gözlenirken, bunu N6 (%7.14) ve NN (%3.57) ortamları takip etmiştir. Tetraploid genotiplerde ise N6 ortamı hariç diğer iki ortamda (MS ve NN) kök oluşumu meydana gelmiştir (MS %6.67; NN %4.55).

Yeşil bitkicik oluşumu yönünden elde edilen başarı kök oluşumu kadar yüksek olmamış, bitkicik oluşumu yalnızca soğuk uygulama yapılan diploid çavdar anterlerinin MS besin ortamında kültüre alınması ile belirlenmiştir (%5.26) (Tablo 5).

Tablo 5. Çavdarda ön işlem, genotip ve besin ortamlarının kök ve bitkicik oluşumu üzerine etkisi.

Ön işlem	Genotip	Besin ortamı	Kök oluşumu (%)	Yeşil bitkicik oluşumu (%)
Soğuk uygulamasız	Diploid	MS	-	-
		N6	13,79	-
		NN	-	-
	Tetraploid	MS	-	-
		N6	-	-
		NN	1,85	-
Soğuk uygulamalı	Diploid	MS	57,89	5,26
		N6	7,14	-
		NN	3,57	-
	Tetraploid	MS	6,67	-
		N6	-	-
		NN	4,55	-

Bu araştırmada anter kültüründe farklı ön işlem ve besin ortamlarının diploid ve tetraploid çavdar genotiplerinde kallus ve bitkicik oluşumu üzerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak tarla şartlarında yetiştirilen diploid ve tetraploid genotiplere ait anterler ön işleme (1 hafta soğuk uygulama) tabi tutulmuş modifiye edilmiş 3 farklı besin ortamında kültüre alınmıştır. Çavdarda anter kültürü çalışmalarında en büyük sorun rejenerasyon kapasitesinin çok düşük olmasıdır. Bu sorunu gidermeye yönelik olarak değişik araştırmacılar tarafından farklı yöntemler denenmiştir (Daniel, 1993; Flehinghaus vd., 1991; Ma vd., 2004).

Soğuk ön işlem uygulamasına diploid ve tetraploid çavdarlar farklı tepki göstermiş, diploidlerde soğuk uygulama anter tepki oranını ve kallus sayısını artırmış ancak tetraploidlerde anter tepki oranının düşmesine neden olmuştur. Bu durum soğuk uygulama süresinin genotiplere göre değişebileceğini göstermektedir. Akgün ve Altındal (2015) tarafından çavdarda yapılan bir çalışmada 1 haftalık soğuk ön uygulamasının diploidlerde anter tepki oranını artırdığı bildirilmiştir. Çavdar anter kültüründe başaklara 1 haftalık soğuk uygulama yaygın olarak kullanılmıştır (Daniel, 1993; Flehinghaus vd., 1991; Rakoczy-Trojanowska, Śmiech, ve Malepszy, 1997). Soğuk uygulama ile kültür çavdarında (*Secale cereale* L.) anterlerin sadece yaklaşık %1-3'ünde yüksek rejenerasyon oranı görülmüştür (Daniel, 1993; Flehinghaus-Roux, Deimling, ve Geiger, 1995). Çavdar anter kültüründe başlangıçta genellikle hücre bölünmesi ve kallus oluşumu gözlenmektedir (Zimny ve Michalski, 2019). Yapılan bir çok çalışmada soğuk uygulamanın rejenerasyon oranı ve kallus sayısını artırdığı ve uygun sürenin genotipe göre değiştiği ortaya konulmuştur (Daniel, 1993; Flehinghaus vd., 1991; Immonen ve Anttila, 1996; Szarejko ve Kasha, 1991). Ma vd. (2004) 4 °C'de 1-4 hafta arası soğuk uygulamaya tabi tutulan anterlerden en yüksek kallus oluşumunun meydana geldiğini ifade etmiştir.

Araştırmamızda tetraploidlerde kallus sayısı daha yüksek bulunmuş, ancak anter tepki oranında düşüş görülmüştür. Yapılan bir çalışmada, tüm genotipler için tek bir besin ortamı belirlenememiş ve genotiplere göre kallus oluşumu değişkenlik göstermiş (Rakoczy-Trejanowska vd.,1997) ve yine bir diğer çalışmada kullanılan besin ortamı bitki ıslahında anter kültürünün kullanımını sınırlayan faktörlerden birisi olmuştur (Afza vd., 2000). Buğdayda yapılan anter kültürü çalışmasında genotipin etkisi kallus oluşumu ve yeşil bitki oluşumu üzerine önemli olmuş ve değişkenlik göstermiştir (Weigt, Kiel, Nawracała, ve Pluta, 2015; Weigt, vd., 2016).

Faktör olarak kullanılan soğuk uygulama başlangıçta anter tepkisini azaltsa da, kallus oluşturan anter oranını önemli seviyede artırmasına rağmen kallus büyüklüğünü azaltıcı bir etki yapmıştır. Bu durumun kallus oluşturan anter sayısının daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan araştırmalarda anterlerin yerleştirme yoğunluğunun kallus oluşumu üzerine etkili olduğu ortaya konulmuştur (Ma vd., 2004)

Ana ortamın içeriği androgenesiste başarı için önemli faktörlerden biridir. Şimdiye kadar tek besin ortamı çalışmalarda kullanılmamış, genotip ve kültür şartlarına göre birçok ortamlar denenmiştir. Diğer bitkilerde olduğu gibi çavdar anter kültüründe de çeşitli besin ortamları kullanılmıştır (Daniel, 1993; Immonen ve Anttila, 1996; Guo ve Pulli, 2000; Wenzel, Hoffmann, Thomas, 1977). Çalışmamızda yeşil bitkicik oluşumunda N6 ve NN ortamlarının MS ortamına göre yetersiz olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonucun çavdarda (Immonen ve Anttila, 1999), arpada (Dedicova vd., 1999) ve çeltikte (Mandal ve Bandyopadhyay 1997) yapılan çalışmalar ile paralellik gösterdiği açık vearaştırmacılar çalışmalarında N6 ortamının da rejenerasyon için yetersiz olduğunu ortaya koymuşlardır. Ancak genel olarak kallus sayısı ve kallus büyüklüğü bakımından N6 ortamının daha iyi sonuç verdiği çalışmamızda ortaya çıkmış ve Immonen (1999) tarafından yapılan çalışmayla uyumluluk göstermiştir.

Soğuk ön uygulamasının incelenen özellikler üzerine etkisi incelendiğinde; diploid ve tetraploid çavdar varyetelerinde farklılık göstermiştir. Nitekim soğuk ön işlem uygulaması diploid varyetelerde kallus büyüklüğünü ve kalluslardan kök gelişimini önemli seviyede teşvik etmiş, kök oluşumu incelenen tüm besin ortamlarında %3.57-57.89 arasında değişkenlik göstermiştir. Çalışmamızda çavdarda yeşil bitkicik oluşumu yetersiz kalmıştır. Soğuk uygulamalı diploid çavdarlarda yeşil bitkicik oluşumu düşük oranda gözlenirken, tetraploidlerde ise gözlenememiştir. Bu duruma tetraploidlerde daha fazla heterozigotluğun bulunması yanında ortam faktörleri de etkili olmuş olabilir. Nitekim haploid bitki elde etmede bitki genotipinin önemli olduğu değişik araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Hatipoğlu ve Sakin, 1996). Powell (1998) çalışmasında arpa genotiplerinin soğuk ön uygulamasına tepkilerinin farklı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca diğer tahıllar içerisinde çavdarın uygulanan işlemlere karşı zor tepki veren bir tür olduğu kallus oluşumu, bitki rejenerasyonu ve yüksek albino bitki oranının büyük sorun olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur (Guo ve Pulli, 2000; Ma vd., 2004).

Soğuk ön uygulama yapılmamış diploid genotiplerde kalluslardan kök oluşumu (%0.0-13.79) tetraploid genotipten (%0.0-1.85) daha fazla olmuş, ancak yeşil bitkicik oluşumu her iki genotipte de meydana gelmemiştir. Bu sonuçlar yine ön işlem olarak soğuk uygulama süresinin genotiplere göre değişebileceğini göstermektedir. Yapılan bir çalışmada çavdarda 4 °C'de başaklara 1 hafta soğuk uygulama mikrospor kültüründe başarı şansını artırmıştır (Mikołajczyk vd., 2012).

Besin ortamlarının kalluslardan kök oluşumu ve yeşil bitkicik oluşumu üzerine etkisi dikkate alındığında, soğuk ön işlem uygulanan tetraploid genotipte modifiye edilmiş N6 ortamı hariç denemeye alınan diğer tüm ortamlarda kök oluşumu olumlu yönde teşvik edilmiş, en fazla kök oluşumu (%57.89) modifiye edilmiş MS ortamında belirlenmiştir. Yine yeşil bitkicik gelişimi soğuk uygulamalı ve MS ortamı kullanılan denemeden elde edilmiştir. Ön işlem uygulanmayan diploid genotipte kök oluşumunun modifiye edilmiş N6 ortamında (%13.79) tetraploidlerde ise modifiye edilmiş NN ortamında (%1.85) ortaya çıkmış,, ancak yeşil bitkicik oluşumu hiçbir ortamda meydana gelmemiştir.

Anter kültüründe başarıyı etkileyen faktörler arasında anterlerin alındığı donör bitkinin yetiştirme koşulları (Dodds ve Roberts, 1985; Mikołajczyk vd., 2012), kültürdeki anter yoğunluğu (Cho ve Zapata, 1990), çevre şartları (Mikołajczyk, 2012), besi ortamı ve başaklara soğuk uygulama (Tenhola-Roininen, Tanhuanpää, ve Immonen, 2005; Mikołajczyk vd., 2012) ve genotip (Oleszczuk, 2013) sayılabilmektedir. Çalışmamızda da genotip, besi ortamları kompozisyonu ve soğuk uygulama sonuçlarımızı etkilemiş ve değişkenlik göstermiştir.

4. Sonuç

Sonuç olarak, çalışmamızda çavdarda anter kültüründe kallus oluşumu ve yeşil bitkicik rejenerasyonu diğer tahıllara göre çok zor olup, genotiplere göre soğuk uygulama süresi ve besinortamlarının değişiklik gösterebileceği ortaya konulmuştur. Çavdarda anter kültüründe uygun metotların oturturabilmesi için çalışmaların yoğunlaşması gerektiği sonucuna varılmıştır.

5. Kaynaklar

- Afza, R., Shen, M., Zapata-Arias, F. J., Xie, J., Fundi, H. K., Lee, K. S., Bobadilla-Mucino, E. ve Kodym, A. (2000). Effect of spikelet position on rice anther culture efficiency. *Plant Science*, 153(2), 155-159.
- Akgün, İ. ve Altındal, N. (2015). Effects of carbohydrate sources, pre-chilling application and ploidy levels on anther culture in rye (*Secale cereale* L.). *Academia Journal of Biotechnology*, 3(6), 111-116.
- Başer, İ., Korkut, K. Z., Bilgin, O. ve Balkan, A. (2016). Anter kültürü tekniği ile ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) melez populasyonlarından doubled haploid bitkilerin elde edilmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel sayı-1), 232-236.
- Bazylewska, J., Broda, Z., Mikołajczyk, S. ve Pluta, M. (2015). Induction of haploids in the genus *Secale* L. via androgenesis. Session I: Plant differentiation processes in the culture of somatic cells and cells of generative pathwa, *BioTechnologia*, 96(1), 55.
- Begheyn, R. F., Lübberstedt, T. ve Studer, B. (2016). Haploid and doubled haploid techniques in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) to advance research and breeding. *Agronomy*, 6, 60.
- Cho, M. S. ve Zapata, F. J.(1990). Plant regeneration from isolated microspores of indica rice. *Plant and Cell Physiology*, 31, 881-885.
- Çeliktaş, N. ve Hatipoğlu, R.(1997). Arpa (*Hordeum vulgare* L.) anter kültüründe genotip, soğuk uygulama süresi ve besi ortamı 2,4-D içeriğinin etkisi. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(2),63-172.
- Daniel, G.(1993). Anther culture in rye: improved plant regeneration using modified MS-media. *Plant Breeding*, 110, 259-261.
- De Buysse, J., Henry, Y., Lonnet, P., Hertzog, R. ve Hespel, A.(1987). *Florin*: a doubled haploid wheat variety developed by anther culture method. *Plant Breeding*, 98, 53-56.
- Dedicova, B., Obert, B., Zofajova, A., Matusik, M. ve Pretova, A.(1999). Anther cultures of barley. *Biologia-Bratislava*, 54(1), 91-99.
- Dodds, J. H. ve Roberts, L. W.(1985). *Experiments in plant tissue culture*. Cambridge University Press, New York.
- Eudes F. ve Amundsen, E.(2005). Isolated microspore culture of Canadian 6 x triticale cultivars. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 82, 233-241.
- Finnie, S.J., Powell, W. ve Dyer, A. F.(1989). The effect of carbohydrate composition and concentration on anther culture response in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Breeding*, 103, 110-118.
- Flehinghaus, T., Deimling, S. ve Geiger, H. H.(1991). Methodical improvements in rye anther culture. *Plant Cell Reports*, 10, 397-400.
- Flehinghaus-Roux, T., Deimling, S. ve Geiger, H. H.(1995). Anther-culture ability in *Secale cereale* L. *Plant Breeding*, 114, 259-261.
- Guo, Y. D. ve Pulli S.(2000). Isolated microspore culture and plant regeneration in rye (*Secale cereale* L.). *Plant Cell Reports*, 19, 875-880.
- Gürel, A., Tosun, M. ve Demir, İ.(1993). Bazı makarnalık ve ekmeçlik buğday genotiplerinin anter kültürüne reaksiyonları. *Anadolu, J. of AARI*, 2, 98-111.
- Gürel, A.(1994). *Susam (Sesamum indicum L.)'da anter kültürü*. Tarla Bitkileri Kongresi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, 25-29 Nisan, Bornova.
- González, J. M. ve Jouve, N. (2000). Improvement of anther culture media for haploid production in triticale. *Cereal Research Communications*, 28, 65-72.
- Hatipoğlu, R. ve Sakin, M. A.(1996). Tütün (*Nicotiana tabacum*) anter kültüründe genotip ve besi ortamının haploid bitki oluşumuna etkileri üzerinde araştırma. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(4), 107-116.
- Immonen, S. ve Anttila, H.(1996). Success in anther culture of rye. *Vorträge für Pflanzenzüchtung*, 35, 237- 244.
- Immonen, S. ve Anttila, H. (1998). Impact of microspore developmental stage on induction and plant regeneration in rye anther culture. *Plant Science*, 139(2), 213-222.
- Immonen, S.(1999). Androgenetic green plants from winter rye, *Secale cereale* L., of diverse origin. *Plant Breeding*, 118, 319-322.
- Immonen, S. ve Anttila, H.(1999). Cold pretreatment to enhance green plant regeneration from rye anther culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 57, 121-127.
- Islam, S. M. S. ve Tuteja, N. (2012). Enhancement of androgenesis by abiotic stress and other pretreatments in major crop species. *Plant Science*, 182, 134-144.
- Jäger, K., Bartók, T., Ördög, V. ve Barnabás, B.(2010). Improvement of maize (*Zea mays* L.) anther culture responses by algae-derived natural substances. *South African Journal of Botany*, 76(3), 511-516.
- Khanna, H. K. ve Raina, S. K. (1998). Genotype x culture media interaction effects on regeneration response of three indica rice cultivars. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 52, 145-153.
- Ma, R., Guo, Y. D. ve Pulli, S. (2004). Comparison of anther and microspore culture in the embryogenesis and regeneration of rye (*Secale cereale* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 76, 147-157.
- Mandal, A. B. ve Bandyopadhyay, A. K. (1997). In vitro anther culture response in indica rice hybrids. *Cereal Research Communications*, 25(4), 891-896.
- Mikołajczyk, S., Broda, Z. ve Weigt, D. (2012). The effect of cold temperature stress on the viability of rye (*Secale cereale* L.) microspores. *BioTechnologia, Journal of Biotechnology, Computational Biology and Bionanotechnology*, 93(2), 139-142.
- Mishra, V. K. ve Goswami, R. (2014). Haploid production in higher plant. *International Journal of Chemical and Biochemical Science*, Review Paper, 1, 25-45.
- Oleszczuk, S., Zimny, J., Makowska, K., Zimny, A., Czaplicki, A., Kozdój, J. ve Sowa, S. (2013). Using androgenesis in studies on single cell-derived embryo development. *Modern Phytomorphology*, 4, 17-20.
- Plamenov, D., Belchev, I., Daskalova, N., Spetsov, P. ve Moraliyski, T. (2013). Application of a low dose of gamma rays in wheat androgenesis. *Archives of Biological Sciences*, 65(1), 291-296.

- Ponitka, A. ve Ślusarkiewicz-Jarzina, A. (2004). Cleared-ovule technique used for rapid access to early embryo development in *Secale cereale* × *Zea mays* crosses. *Acta Biologica Cracoviensia, Series Botanica*, 46, 133-137.
- Powell, W. (1998). The influence of genotype and temperature pre-treatment on anther culture response in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 12, 291-297.
- Qi, Y., Ye, Y. ve Bao, M. (2011). Establishment of plant regeneration system from anther culture of *Tagetes patula*. *African Journal of Biotechnology*, 10(75), 17332- 17338.
- Rakoczy-Trojanowska, M., Śmiech, M. ve Malepszy, S. (1997). The influence of genotype and medium on rye (*Secale cereale* L.) anther culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 48, 15-21.
- Saidi, N., Cherkaoui, S., Chlyah, A. ve Chlyah, H. (1997). Embryo formation and regeneration in *Triticum turgidum* ssp. durum anther culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 51, 27-33.
- Silva, T. D. (2010). Indica rice anther culture: can the impasse be surpassed?. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 100, 1-11.
- Szarejko, I. ve Kasha, K. J. (1991). Induction of anther culture derived doubled haploids in barley. *Cereal Research Communications*, 19, 219-237.
- Targońska, M., Hromada-Judycka, A., Bolibok-Bragoszewska, H. ve Rakoczy-Trojanowska, M. (2013). The specificity and genetic background of the rye (*Secale cereale* L.) tissue culture response. *Plant Cell Reports*, 32(1), 1-9.
- Tenhola-Roininen, T., Tanhuanpää P. ve Immonen S. 2005. The effect of cold and heat treatments on the anther culture response of diverse rye genotypes. *Euphytica*, 145, 1-9.
- Tenhola-Roininen, T. (2009). Rye Doubled Haploids: production and use in mapping studies. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science*, 198, 93.
- Trejo-Tapia, G., Amaya, U. M., Morales, G. S., Sánchez, A. D. J., Bonfil, B. M., Rodríguez-Monroy, M. ve Jiménez-Aparicio, A. (2002). The Effects of cold-pretreatment, auxins and carbon source on anther culture of rice. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 71, 41-46.
- Weigt, D., Kiel, A., Nawracała, J. ve Pluta, M. (2015). The androgenic response in anther culture of spring wheat is greater in genotypes with solid stem in contrast to genotypes with hollow stem. *BioTechnologia*, 96(1), 90.
- Weigt, D., Kiel, A., Nawracała, J., Tomkowiak, A., Kurasiak-Popowska, D., Idzı Siatkowski, I. ve Ługowska, B. (2016). Obtaining doubled haploid lines of the *Lr19* gene using anther cultures of winter wheat genotypes. *BioTechnologia, Journal of Biotechnology, Computational Biology and Bionanotechnology*, 97(4), 285-293.
- Wenzel, G., Hoffmann, F. ve Thomas, E. (1977). Increased induction and chromosome doubling of androgenetic haploid rye. *Theoretical and Applied Genetics*, 51, 81-86.
- Zimny, J. ve Michalski, K. (2019). Development *in vitro* culture techniques of advancement rye (*Secale cereale* L.) breeding. *Acta Biologica Cracoviensia, Series Botanica*, 61/1, DOI: 10.24425/abcsb.2019.127735.



Gypsum-Based Boards Made from Mixtures of Waste Cellulosic Sources: Part 1. Physical and Mechanical Properties

Halil Turgut Sahin^{1*}, İlkan Demir²

¹ Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Dept. of Forest Products Engineering, 32260 Isparta, Turkey (ORCID: 0000-0001-5633-6505)

² Isparta University of Applied Sciences, Graduate Education Institute, 32260 Isparta, Turkey (ORCID: 0000-0002-1496-077X)

(First received 14 May 2019 and in final form 10 July 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.565240)

ATIF/REFERENCE: Sahin, H. T. & Demir, İ. (2019). Gypsum-Based Boards Made from Mixtures of Waste Cellulosic Sources: Part 1. Physical and Mechanical Properties. *European Journal of Science and Technology*, (16), 567-576.

Abstract

It was realized that post-consumer waste paper, old corrugated container (OCC) and secondary fiber addition (cellulosic additives) to gypsum in panel structure negative impact on Thickness Swelling (TS) values in water. However, highest TS values of 23.32% (A6) in A-type, 12.76 (B6) in B-type and 7.79% (C6) in C-type experimental boards found at similar proportions (50:50 w/w) of gypsum and cellulosic additives while the lowest with control sample that was only 1.88%. Moreover, the boards produced by secondary fiber/gypsum mixture (C-type boards) under similar ratios (w/w) were found to higher IB strength than others. The highest IB strength value of 0.60 N/mm² found for C3 board while the ratio of the secondary fiber in the mixture to be more than 20%, negative effects on IB values to a certain extent. The addition of all three cellulosic sources to the gypsum structure increases the bending strength properties some level. At 10% (A2: 6.59 N/mm²) and 50% (A6: 6.44 N/mm²) proportion levels, A-type boards show higher bending strengths than the B- and C-type boards. In all manufacturing conditions and board types, the natural weathered boards have always shown lower hardness properties than counterpart control samples.

Keywords: Waste paper, Seconder fiber, Old Corrugated Container, Gypsum panel, Strength properties

Atık Selülozik Karışımı Kaynaklardan Üretilen Alçı Esaslı

Levhalar: 1. Bölüm. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Öz

Bu çalışmada, atık durumdaki kağıtlar (A tipi), eski kullanılmış oluklu mukavvalar (B tipi) ve ikincil selüloz lifleri (C tipi) alçı yapısına katılarak kompozit deneme panel levhalar üretilmiştir. Araştırma bulgularına göre, bu hammaddelerin alçı yapısına katılması su içinde kalınlık artım değerlerini olumsuz etkilemiştir. A, B ve C tipi levhalarda en yüksek kalınlık artım değeri sırasıyla %26,32, 12,76% ve %7,79 olarak benzer üretim şartlarındaki A6, B6 ve C6 deneme levhalarında gözlemlenmiştir. Bu levhaların üretim şartları %50-50 (ağırlık/ağırlık) alçı-selülozik atık şeklindedir. Fakat en düşük kalınlık artım değeri ise sadece alçıdan üretilmiş levhada (kontrol levhası) %1,88 olarak ölçülmüştür. Sekonder lif/alçı karışımından üretilmiş C tipi levhalarda, aynı üretim şartlarında A ve B tipi levhalardan daha yüksek iç yapışma direnç (IB) özelliğine sahip deneme levhaları üretilmiştir. En yüksek iç yapışma direnci 0.60 N/mm² olarak C3 tipi levhada gözlemlenmiştir. Fakat %20 den daha yüksek sekonder lif eklenmesi alçıdan üretilmiş levhaların direnç özelliklerini olumsuz etkilemiştir. Alçı yapısına eklenen her üç tip hammadde de eğilme direnç özelliklerini (MOR) olumlu etki ettiği anlaşılmıştır. %10 ve %50 selülozik katkı durumunda, A2 (6.59 N/mm²) ve A6 (6.44 N/mm²) levhaları diğer B ve C

¹ Corresponding Author: Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Dept. of Forest Products Engineering, 32260 Isparta, Turkey, ORCID: 0000-0001-5633-6505, halilsahin@sdu.edu.tr

tipi levhalara göre aynı üretim şartlarında daha yüksek eğilme direnç özelliği göstermiştir. Açık havada bekletilmiş tüm deneme levhalarının sertlik özellikleri, kontrol örneklerinden daha düşük olduğu anlaşılmıştır

Anahtar Kelimeler: Atık kağıt, Sekonder lif, Eski oluklu mukavva, Alçı levha, Direnç özellikleri

1. Introduction

The continuous increase in the demand on the wood materials, leads to a shortage of forest lands with increasing in the prices, which in turn efforts towards to the search alternative new raw material sources for the forest products industry. However, other approaches for this topic are the preservation of environment and decreasing the destruction of natural forests. Thereby, many studies have already been conducted on new biomass sources such as; annual plants, lignocellulosic wastes, recovered cellulose fibers (e.g. secondary fibers), agricultural residues, throughout the world (Konukcu, 2001; Rowell, 1996; Şahin, 2006).

Since paper was first invented in China at 105 A.D by T'sai Lun, it has still remained important materials for writing, drawing and communication purposes in our daily lives. At present, hundreds type of paper-based products (e.g. corrugated cardboards, bags, cleaning/sanitary, writing, cigarette, wrapping, etc.) utilized worldwide by consumers (Baipai, 2013; Thompson, 1992). However, after the use of those products, they are often disposed as household or municipal solid wastes. Because of the presence of cellulose in sheet structure, the recovery of this valuable material is particularly important in terms of protecting environment and energy savings. Moreover, the recycling of paper-based products has a simpler production process that significant reduction of operational costs and energy with less environmental pollution (e.g. air, soil or water). More information on paper recycling benefits and advantages could be found elsewhere (Baipai, 2013 and 2018; Cathie and Guest 1991; Spangenberg, 1993; Thompson, 1992).

Although a number of studies have already conducted utilization of recovered cellulose fibers (secondary fibers) for papermaking, there is very limited research on the use of those for composite panel production. Grigoriou (2003) was used three different paper types (newspaper, office and magazine) with isocyanate as resin by mixing wood at various proportions for making composite materials. He reported that the addition of wax to that mixture (between 0.7-2.0%) significantly reduced the thickness swelling (TS) values of that panels (Grigoriou, 2003). Yang and his group (2002), utilized waste paper particles with 10% urea-formaldehyde (UF) as resin with some fire-retardant substances (0.8-1.0%). It was found that the mechanical strength properties of the boards were lower than those of MDF and particle boards but they show well insulation properties (Yang et al., 2002). It was reported that addition of secondary fibers that recovered from old corrugated container to fiberboard structure more than 40% significantly reduced the properties of the panels (Hwang et al., 2005). In recent study, it was investigated the possibilities of fiberboard production from secondary fibers recovered from three different paper types (newspaper, office paper and old corrugated container) with a synthetic binder (UF). It was stated that the secondary fibers could be used individually or mixture in various proportions together to produce panel products with acceptable some strength and technological properties (Kaya, 2015).

Gypsum is one of the oldest building materials used throughout history. In the archaeological studies, some of the gypsum remnants which were used in 6800-5700 BC were found in Çatalhöyük, Konya (Demir, 2019). Today, it is estimated that around 3 billion tons of gypsum reserves could be operated in worldwide, and nearly half of them are estimated to be located in the USA. However, one of the main drawback of gypsum as a building material is its heaviness and brittleness. Hence, gypsum boards does not have strong impact resistance for some building applications. This drawback could be overcome by combining gypsum with various materials in order to impinging better mechanical performance with sound and fire resistance (Herhández et. al. 1999).

Although some research has already conducted utilization of waste paper and secondary cellulose fibers for various purposes rather than papermaking, there is no comprehensive study on the use of post-consumer waste papers, OCC and secondary fibers for gypsum-based panel production. In this sense, composite production possibilities were conducted by using these three different cellulose-based materials with gypsum. Moreover, the determination of the variables and the suitability of those with the gypsum-based composite panel production approaches have been investigated. Thereby, this study divided to two part, in first part, it was studied the physical and mechanical strength properties of cellulosic added gypsum-based composite panels. In the second part, some chemical and technological properties of those panels have been investigated.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Old Corrugated Container (OCC) obtained from a local company, Isparta-Turkiye. The OCC typically contains various types of papers at inside (corrugated) or outer surfaces (liner papers) such as; kraft liner, test liner, NSSC and fluting etc. The waste papers supplied from edge clipping of pressing process (fully bleached Kraft type) that there is no any further (i.e. writing or printing) procedure applied. The general properties of waste papers as follows;

- **Grammage:** 48-90 g/cm²,
- **Bulkiness:** 1.6-2.0 cm³/g,
- **Brightness (%):** >85 (ISO 2470-2),
- **Opacity (%):** 86-90 (ISO 2471).

Both type of paper based products were turned into particles through hand scissors and screened to suitable particle dimensions. The 30-50 mm particles were utilized for adding to gypsum/water mixture. They were then dried at atmospheric conditions until at least a 10-12% moisture content was obtained.

The secondary fibers were produced from post-consumer waste paper (print paper grade, fully bleached kraft). These were converted to secondary pulp using laboratory type standard disintegrator in water. After 30-35 minutes to disintegration, all the sheets convert to the pulp. Then the pulps washed with fresh water and screened on a 200 mesh screen. After, the pulps laid on laboratory conditions to air dried at 24 hours, the pulps was refined a stone mechanical refiner to final fibrillation level.

2.1. Methods

The bonding agent employed was commercial grade perlite plaster type Gypsum, supplied by a local retail store, Isparta, Turkey. The detailed description of gypsum and its specifications could be found elsewhere (Demir, 2019). After 15 to 20 minutes of mixing gypsum with cellulosic additives in water, the composite paste was screened onto a metal plate which had been covered with wax paper. The mat was evenly distributed to provide as uniform a density as possible. Cold pressing took place under a pressure of 5.0 MPa, to reach 10 mm thickness, after which the boards was retained in compression for 24 hours. The target densities of the manufactured boards were; 1.0 (\pm 0.1) gr/cm³.

A total of 36 experimental gypsum-based boards were made. The experimental procedure for manufacturing experimental particle boards as;

- **Press temperature (°C):** Ambient temperature,
- **Pressing and curing time (day):** up to 28,
- **Press pressure (N/mm²):** 0.1-1.0,
- **Gypsum-waste paper/OCC/secondary fiber ratio (%):** 100-0/0-50
- **Board dimensions (mm):** 400x400x10 cm.

In order to limit the study to a certain level and to investigate the effects of cellulosic additives to gypsum structure, it is not considered to include any other substance rather than cellulosic additives and gypsum, since only the effect of gypsum/cellulosic compatibility are considered.

After manufacturing, the experimental panels, they were conditioned at 20 °C and 65 % relative humidity and samples were cut to determine the IB (Internal Bond), MOE and MOR (Modulus of Elasticity and Rupture), TS (Thickness Swelling after 24 hours immersion in water), in accordance with TS EN 310 (1999), TS EN 319 (1999) and TS EN 317 (1999) standards, respectively.

The board's code numbers and gypsum/cellulosic additive proportions (waste paper (A); OCC (B) and secondary fiber (C) are given in Table 1.

The natural weathering tests were conducted on 50x50x10 mm samples were exposed to natural outdoor process for two months. The comparative hardness tests were conducted only for those samples. The surface hardness properties of both control and weathered samples were measured with a Shore Hardness (Scale D) instrument, according to test method of ASTM D2240 standard.

An ANOVA general linear model procedure was employed for data to interpret principal and interaction effects on the properties of the panels manufactured. Duncan test was used to make comparison among board types for each property tested if the ANOVA found significant.

Table 1. The code numbers and mixture proportions of gypsum based experimental panels

Code	Cellulosic additive (gr)	Gypsum (gr)	Cellulosic additive (%)	Gypsum (%)
A1-B1-C1	0	1600	0	100
A2-B2-C2	160	1440	10	90
A3-B3-C3	320	1280	20	80
A4-B4-C4	480	1120	30	70
A5-B5-C5	640	960	40	60
A6-B6-C6	800	800	50	50
C7	960	640	60	40
C8	1120	480	70	30

3. Results and Discussions

The comparative Thickness Swelling (TS) properties of boards immersed in water for 24 hours are shown in Figure 1. The highest TS found for A6 (23.32%) and B6 (12.76%) experimental panels at similar proportions in gypsum structure (50:50, waste paper & OCC into gypsum) while the lowest with control sample (A1 & B1). In general, it was observed that the amount of waste paper or OCC particles in the gypsum structure adversely affected the TS increases. This could be expected considering addition of a hydrophilic cellulosic material (waste paper & OCC) into the hydrophobic gypsum structure. It is clear that those panels with having some cellulosic additives exhibit higher hydrophilic properties than gypsum alone, and that it is inevitable. However, more less similar trend was also found in C-type experimental panels at similar level of additives that the highest TS value of 7.79% was also found in C6. It is clearly seen that there is a close relationship between the increase in the ratio of the secondary fiber (cellulosic) and

the TS of the boards in the water, and in contrast to the increase in the ratio of the gypsum. Moreover, except B2 board, in all similar level of proportions, A-type experimental panels show higher TS properties while C-type panels show lowest. It is important to note that only cellulose based hydrophilic substances added to gypsum structure but some hydrophobic substances could be added (e.g. wax) together to improve thickness swelling properties that could be utilized in industrial level of productions. Furthermore, it was proposed for isocyanate bonded paper based panels that even %0.7 addition of wax into cellulosic panel structure significantly reduced TS values (Grigoriou, 2003). The similar approach might be applied to our experimental panels for improving TS properties.

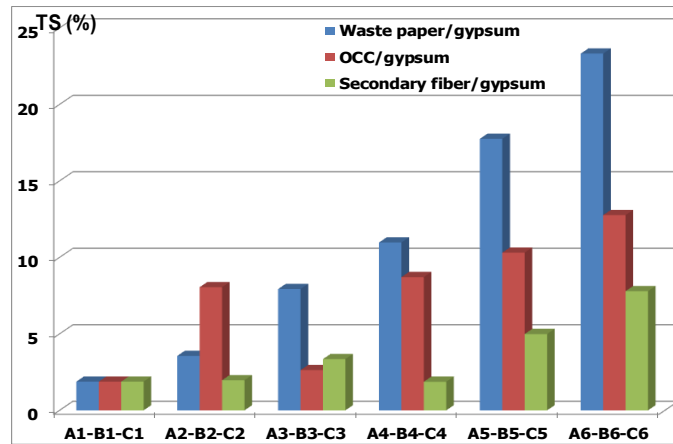


Figure 1. The thickness swelling properties of experimental panels.

Internal Bond (IB) strength properties of the experimental panels are given in Table 2. It has already realized that addition of waste paper and OCC into gypsum significantly affected the IB strengths and higher that content resulted in lower IB strengths of experimental panels. Thereby, highest IB value of 0.27 N/mm² was found for those in control sample. However, the highest IB values of boards produced by the waste paper and OCC addition to gypsum was found on the A5 and B3 experimental panels (0.22 N/mm²) that are approximately, 18.5% lower than control panels. These results clearly indicate poor compatibility between waste paper and OCC particles with gypsum. In contrast, markedly different IB strengths were found for C-type experimental panels that all boards produced from the secondary fiber/gypsum mixture were higher IB values than the control (C1) in all conditions. The highest IB strength value of 0.60 N/mm² found for C3 experimental panel. It is important to note that the ratio of the secondary fiber in the mixture to be more than 20% while reducing the effects on IB values to a certain extent. But still IB values of panels are higher than control (C1) in all conditions. This is probably related to better fiber arrangement that is considerably softer and well organized could be the lowering the void volume in gypsum matrix system. In addition, it is well known that wood-based composite materials produced from fibers (fiberboards) at the same density level are usually higher strength properties than those produced from chip or particles (chipboards) (Maloney, 1977; FPL, 2010). In this study, the results found for C-type experimental panels support this hypothesis that secondary fibers could be more flexible and adaptive to gypsum structure than waste paper or OCC particles.

The Duncan's multiple range test results (Table 2) also showed that the OCC and secondary fibers addition into gypsum had some statistically different IB values, while it was in the two groups in B-type and four groups in C-type experimental boards.

Table 2. The Internal Bond (IB) strengths of experimental panels*

Board code	Density (kg/m ³)	Internal bond strength (IB) (N/mm ²)	Difference from control (%)
Waste paper/gypsum-based experimental panels			
A1	1107.61	0.27 (G)	0,0
A2	938.65	0.21 (G)	-22.2
A3	885.58	0.16 (G)	-40.8
A4	837.03	0.14 (G)	-48.1
A5	823.49	0.22 (G)	-18.5
A6	861.01	0.16 (G)	-40.7
OCC/gypsum-based experimental panels			
B1	1107.61	0.27 (A)	0.0
B2	952.22	0.19 (B)	-2.6
B3	930.47	0.22 (B)	-18.5
B4	825.46	0.15 (B)	-44.4
B5	884.30	0.13 (B)	-51.9
B6	840.91	0.11 (B)	-59.3
Secunder fiber/ gypsum-based experimental panels			
C1	1107.61 A	0.27 (Ax)	0.0
C2	1136.10 B	0.52 (Bx)	9.6
C3	1050.25 B	0.60 (Bx)	122.2
C4	1033.63 C	0.44 (Cx)	62.9
C5	962.92 C	0.35 (Cx)	19.6
C6	939.93 D	0.28 (Dx)	3.7
C7	966.67 D	0.30 (Dx)	11.1
C8	951.49 D	0.28 (Dx)	3.7

* Groups with the same letters in each column indicate that there is no statistical difference ($P < 0.05$) between the samples according to the Duncan's multiple range test.

With using the data in Table 2, the effect of cellulosic additives on gypsum for IB strengths at similar conditions are comparatively shown in Figure 2. It can be clearly seen that the experimental panels produced by secondary fibers/gypsum mixture under the same conditions (weight/weight) were found to significantly higher than the other two types of panels. In this situation, one could be said that the dimensions of the cellulosic material added to the gypsum structure are effective. Because paper and corrugated cardboard particles (2-5 cm) were used in A- and B-type experimental panels, but secondary fibers (1-3 mm) were used in C-type panels. In this case, it is assumed that the fibers are more compatible with the gypsum than the particles that could be set in gypsum matrix structure with having positive effect on the IB strengths.

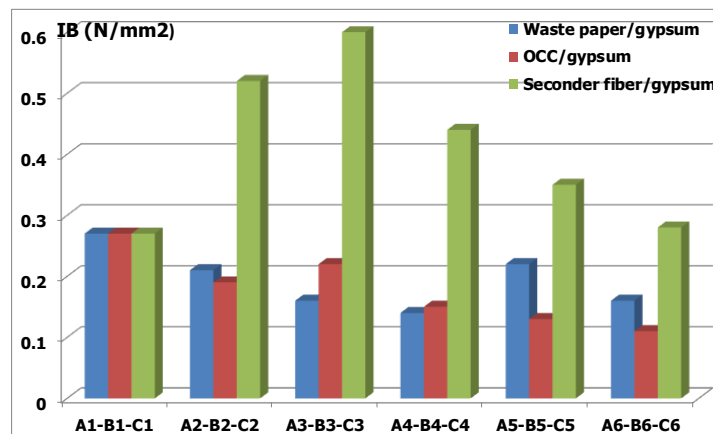


Figure 2. The Internal Bond (IB) properties of experimental panels.

The comparative Modulus of Rupture (MOR) or Bending Strength and Modulus of Elasticity (MOE) values of boards with statistical results are shown in Table 3. When the bending strengths of boards were examined, it was found that all three experimental panel types had higher strength values than control samples (A1, B1 & C1: 2.22 N/mm²). In this sense, those all three additives into gypsum adversely influenced the strength properties compared with those of panel from only gypsum. The highest bending strength value was calculated 6.59 N/mm² in A-type boards (A2), 4.92 N/mm² in B-type boards (B5) and 6.98 N/mm² in C-type boards (C3). These values are approximately 196.8%, 121.6% and 214.4% higher than control, respectively. Thus, it is clear that the addition of all these cellulosic materials to the gypsum structure positively influence the bending strengths. In this regard, it could be suggested that a hard and brittle (rigid) matrix structure of gypsum may be modified by adding lower specific gravity materials which is more resistant and having high specific gravity/strength properties.

Table 3. The Bending Strength (MOR) and Modulus of Elasticity (MOE) of experimental panels.

Board code	Modulus of Rupture (MOR) (N/mm ²)	Difference from control (%)	Modulus of Elasticity (MOE) (N/mm ²)	Difference from control (%)
Waste paper/gypsum-based experimental panels				
A1	2.22 (Az)	0.0	1373 (A)	0.0
A2	6.59 (Cz)	196.8	2274 (A)	65.6
A3	4.27 (Az)	92.3	806 (BC)	-99.4
A4	5.71 (BCz)	157.2	154 (AB)	12.5
A5	3.72 (ABz)	67.6	802 (ABC)	-41.6
A6	6.44 (BCz)	190.1	1423 (AB)	3.6
OCC/gypsum-based experimental panels				
B1	2.22 (At)	0.0	1373 (Cx)	0.0
B2	2.46 (At)	10.8	1536 (Ax)	11.9
B3	2.99 (ABt)	34.7	1603 (BCx)	16.8
B4	4.45(BCt)	100.5	1536 (ABx)	11.9
B5	4.92 (Ct)	121.6	1798 (ABCx)	30.9
B6	2.23 (At)	0.45	522 (ABx)	61.9
Secondary fiber/gypsum-based experimental panels				
C1	2.22 (Af)	0.0	1373 (ABy)	0.0
C2	5.32 (BCf)	139.6	3819 (ABy)	178.2
C3	6.98 (Cf)	214.4	6117 (ABy)	345.5
C4	6.11 (Cf)	175.2	4881 (ABCy)	255.5
C5	3.47 (ABf)	56.3	5437 (BCy)	295.9
C6	3.97 (ABf)	78.8	1294 (Ay)	-5.8
C7	5.17 (BCf)	132.8	870 (Ay)	-36.6
C8	4.93 (Bf)	122.1	1002 (Ay)	-27.1

*Groups with the same letters in each column indicate that there is no statistical difference ($P < 0.05$) between the samples according to the Duncan's multiple range test.

Similar to MOR, the highest MOE value of 2274 N/mm² was found on A2 board, while the lowest value of 802 N/mm² for A5 board. For B-type experimental panels, the highest MOE values of 1603 N/mm² found for B3 board while the lowest of 522 N/mm² for B6 board. However, the MOE values of the C-type panels were found to be higher than the control sample (C1: 1373 N/mm²) until the addition of 40% secondary fiber level. Further addition of secondary fibers in the gypsum matrix resulted in significant reduction in the MOE values and even lower than the control. These is important considering compatibility between secondary fibers with gypsum up to certain level.

However, Duncan's multiple range test results showed that the waste paper, OCC and secondary fibers effects statistically different MOR and MOE values, while it was in the four groups in A- and B type and five groups in C-type experimental panels for MOR properties. Moreover, for MOE properties four groups in A- and C type experimental panels while five groups in B-type experimental panels, respectively.

In order to comparatively investigate the effect of these cellulosic additive's impacts on gypsum-matrix at similar manufacturing (proportions) conditions, Figure 3 and Figure 4 were formed by using the data in Table 3. As mentioned above, it was found that all three types of cellulosic sources provided a higher bending resistance characteristic than the control sample in all conditions (Figure 3). However, at 10% and 50% proportion level, waste paper/gypsum based experimental panels show higher bending strengths than the other two panels types (A2: 6.59 N/mm² and A6: 6.44 N/mm²). Moreover, at 40% proportion level, the B5 board was observed to be higher MOR values (B5: 4.92 N/mm²) than the other two board types (A5: 3.72 N/mm² and C5: 3.47 N/mm²) under the similar conditions. On the other hand, the highest MOR values of 6.98 N/mm² was found for C2 type board. It could be concluded that the addition of these cellulosic sources to the gypsum matrix structure increases the bending strength properties of the experimental panels that is important considering these raw materials are compatible with gypsum and could be useful in composite structure at controlled level of proportions.

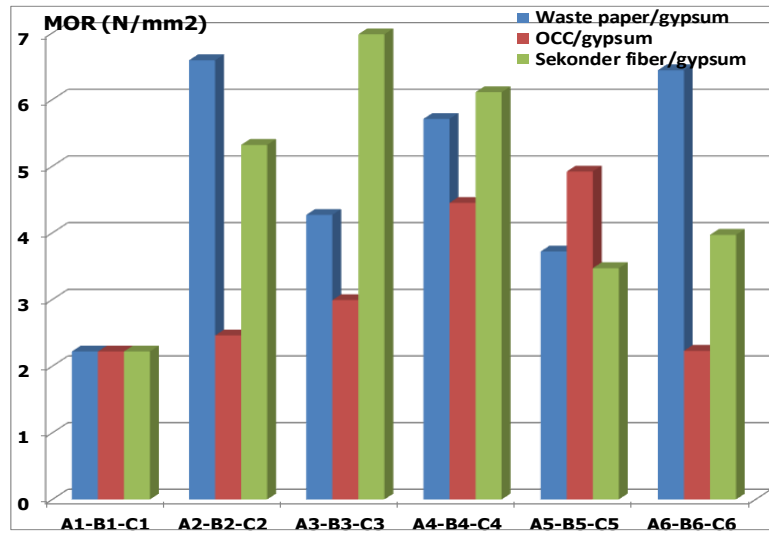


Figure 3. The bending strength (MOR) properties of experimental panels.

It is also realized that the boards produced from the secondary fiber/gypsum mixture (C-types) show higher MOE properties in all conditions than those produced by the waste paper (A-types) and OCC (B-types) experimental panels (Figure 4). However, only A3, A5, A6 and B6 boards show lower MOE values than control samples (A1-B1-C1: 1373 N/mm²).

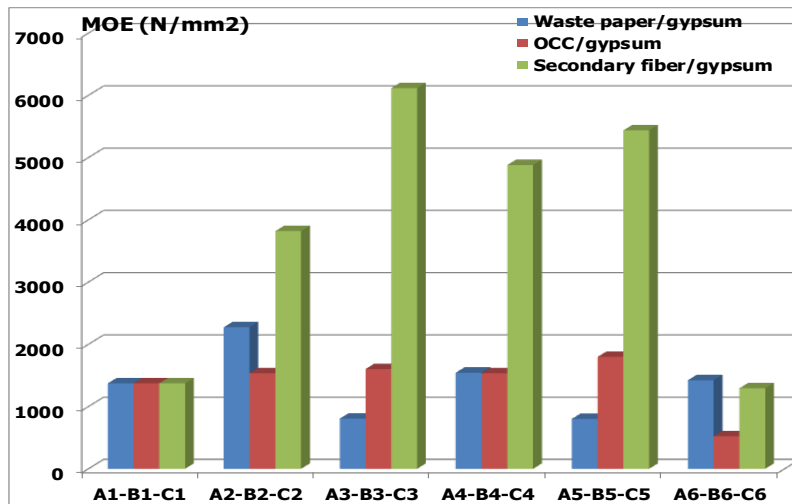


Figure 4. The Modulus of Elasticity (MOE) properties of experimental panels.

It was well known that additive type and particle size are two of the most important factors that affect strength properties of composite materials. However, the better arrangement of particles or fibers and compatibility with gypsum matrices should also positively effects on strength of panels. On the other hand, gypsum could effectively wet the outer surface of additives to form better mechanical bonding, which resulted in improved strength properties and dimensional stability. In our study, it looks like gypsum has better compability with secondary fibers rather than waste paper and OCC particles. The results found in above support this hypothesis. Moreover, some approaches could be suggested for improving the compatibility of cellulosic additives with gypsum that may increasing the strength of panel products. In addition the elimination of gypsum hardening inhibition could be overcome either reducing the amount of inhibitory substances into gypsum paste or accelerating the gypsum hydration by external force. Thereby, a pre-treatment of the furnish with various solution may be improve the compatibility due to change of structure of hydrated products and just cold or hot water was enough for some contaminants although some sources may require a more severe treatments.

The comparative surface hardness values (Shore D) of the experimental boards with statistical results and same samples keeping external atmospheric conditions for 60 days, are given in Table 4. It has been found that the increase in the ratio of the waste paper, OCC and secondary fibers in gypsum (A-, B- and C-type boards) has a positive effect on the hardness improvements.

Table 4. Surface hardness properties of experimental panels (Shore D hardness; metric)

Board code	Hardness (Metric)	Differences from control (A1, B1, C1) (%)	Hardness after weathering (Metric)	Difference (%)
Waste paper/gypsum mixture				
A1	31 (Ax)	0.0	27	-12.9
A2	39 (Bx)	25.8	35	-10.3
A3	44 (Cx)	41.9	40	-9.1
A4	53 (Ex)	70.9	52	-1.8
A5	46 (BCx)	48.3	38	-17.4
A6	49 (Dx)	58.1	46	-6.1
OCC/gypsum mixture				
B1	31 (CDy)	0.0	27	-12.9
B2	56 (Dy)	48.3	54	-3.5
B3	58 (CDy)	87.1	51	-12.6
B4	44 (ABy)	41.9	43	-2.3
B5	49 (BCy)	58.1	46	-6.1
B6	40 (Ay)	29.1	39	-2.5
Secunder fiber/gypsum mixture				
C1	31 (Ez)	0.0	27	-12.9
C2	56 (Bz)	80.6	45	-19.6
C3	57 (Az)	83.8	37	-35.1
C4	55 (DEz)	77.4	54	-1.9
C5	47 (BCz)	51.6	42	-10.6
C6	51 (DCz)	64.5	47	-7.8
C7	48 (Bz)	87.1	44	-8.3
C8	52 (BCz)	67.8	47	-9.6

In all conditions, the higher hardness values were found with these rather than control samples. However, the highest hardness values for each type boards are; 53 in A-types (A4), 58 in B-types (B3) and 57 in C-types (C3) experimental boards that these are approximately 70.9%, 87.1% and 83.9% higher than control (A1-B1-C1: 31), respectively.

However, the panels that exposed to atmosphere for natural weathering were affected significantly average surface hardness of the panels. In this sense, the natural weathered boards have always shown lower hardness properties than counterpart samples. The highest hardness value decrease was measured as 35.1% in C3 while the lowest was determined as 1.8% in the A4 board. It may be concluded that in the additive properties (cellulosic) effects the hardness properties but there is no direct correlation found between cellulosic additive type and surface hardness properties for both control and weathered samples.

Duncan’s multiple range test results showed that the waste paper, OCC and secondary fibers effects statistically different hardness values, while it was in the six groups in A- and C type panels and five groups in B-type panels for surface hardness properties.

The combine effects of panel density and cellulosic additive level on surface hardness properties shown in Figure 5. As seen in Table 4, all cellulosic additives positively effects on panels hardness properties some level. However, increasing panels density had negative impact on surface hardness for A- and B-type boards (Fig. 5 A and B). Moreover, for C-type experimental boards, both board’s density and secondary fiber content improvement effects on surface hardness some level (Fig.5 C). More less similar trend was also realized for weathered samples (Fig.5).

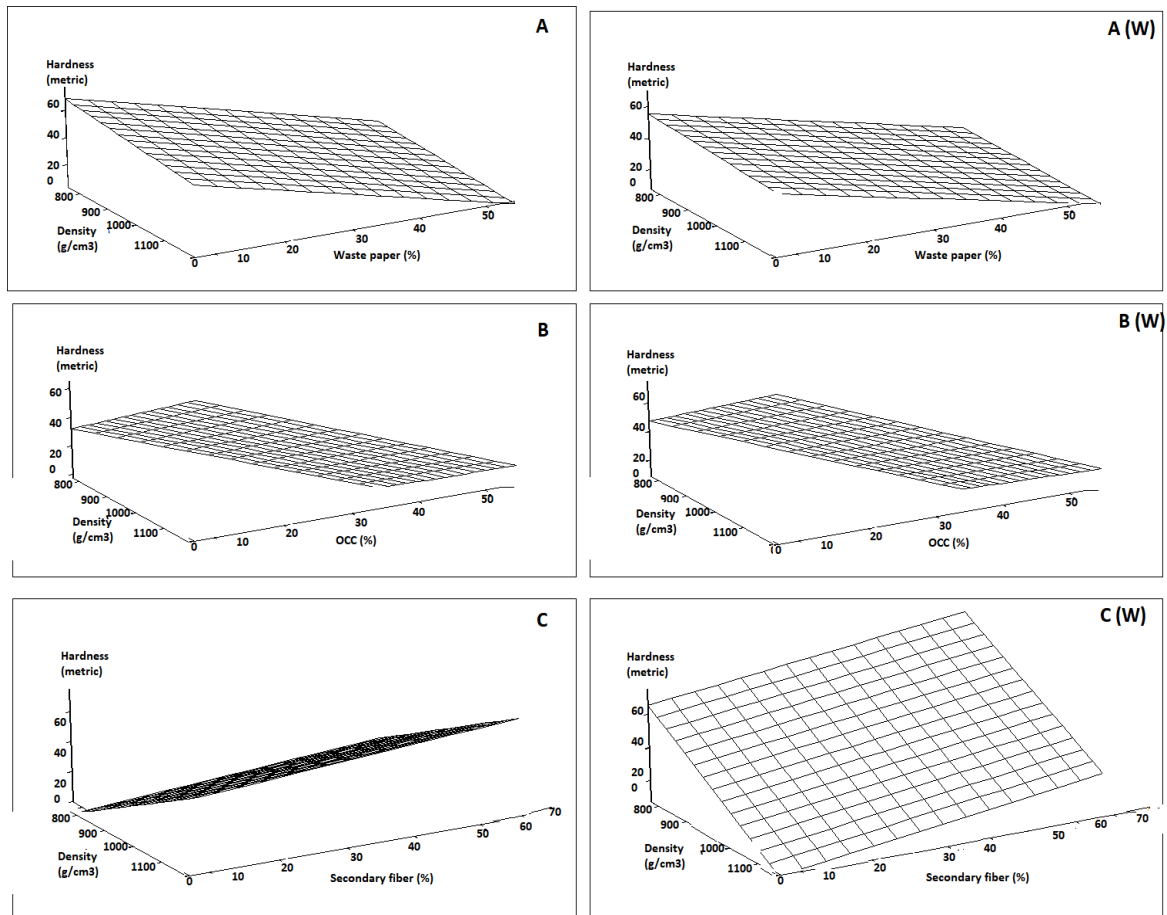


Figure 5. Cellulosic additive and board's density effects on hardness properties of boards (A: A-types; AW: Wheathered of A-types, B: B-types; BW: Wheathered of B-types, C: C-types; CW: Wheathered of C- types).

4. Conclusions

Post-consumer waste paper and paperboards products have already close attention throughout the world due to ready to use cellulose in sheet structure. However, considerably high level of cellulose fibers has lost or not sufficient quality for paper production. Although these could be decreased by appropriate collection, transportation, and processing during careful recycling process, in other approaches for effective utilization of those waste materials to direct use for composite panel manufacturing.

In this study, gypsum-based experimental panels were produced by increasing 10% cellulosic raw materials (waste paper, OCC and secondary fiber) at each production stage, limit to compatibility level with gypsum. Hence, the effect of the ratio of these materials in the mixture of the known proportions has been studied. It is clear that some level of proportions, it is possible to produce acceptable level of gypsum-based panels with these additives at controlled conditions. In this sense, it may be introduced to market with better mechanical and physical properties.

5. References

- ASTM D2240-15e1. (2015). Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness, *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- Baipai, P. (2013). Recycling and Deinking of Recovered Paper, NY. 240 p.
- Baipai, P. (2018). Biermann's Handbook of Pulp and Paper: Volume 1: Raw Material and Pulp Making 3rd Ed., *Elsevier*, NY.668 p.
- Cathie, K., Guest, D. (1991). Waste Paper, *Pira International*, Antony Rore Ltd. England.134 p.
- Grigoriou, A. H. (2003). Waste Paper–Wood Composites Bonded With Isocyanate. *Wood Science and Technology*, 37(1), 79-90.
- Demir, I. (2019). Investigation of the technological properties of gypsum composites produced from some cellulosic based secondary fiber sources, Isparta University of Applied Sciences, *Graduate Education Institute*, MSc. Thesis, (Turkish, Abstract in English) Isparta. 113 p.
- Forest Products Laboratory. (2010). Wood Handbook-Wood as an engineering material, *General Technical Report FPL-GTR-190*, Madison, WI, 508p.
- Herhández, O.F., Bollatti, M.R., Rio, M. and Landa, B.P. (1999). Development of cork-gypsum composites for building applications, *Construction and Building Materials*, 13, 179-186.
- Hwang, C.Y., Hse C.Y., Shupe, T.F. (2005). Effects of recycled fiber on the properties of fiberboard panels. *Forest Products Journal* 55 (11), 61-64.
- Kaya, A.I. (2015). A study of composite materials that produced from recovered fibers of recycled waste papers, Suleyman Demirel

- University, *Graduate School of Applied and Natural Sciences, Ph.D Thesis*, (Turkish, Abstract in English) Isparta, 239p.
- Konukcu, M. (2001). Forests and Turkish forestry benefits statistical facts and forestry in the constituent. Turkish State Planning Organization, *DPT Publication No: 2630*, 258 p. Ankara, Turkey
- Moloney, T.M. (1977). Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing, *Miller Freeman Publications*, San Francisco, 688p.
- Rowell, R.M. (1996). Opportunities for composites from agro-based resources, In: Paper and composites from agro based resources, R.M. Rowell, R.A. Young, J.K. Rowell, (Eds), *CRC Press Inc*, Boca Raton, FL.
- Spangenberg, R.J. (1993). Secondary Fiber Recycling, (Editor), *Tappi Press*, Atlanta, GA.
- Şahin, H. T. (2006). Kağıt ve kompozit ürünleri için lignoselülozik hammadde kaynakları, (Turkish, Abstract in English), *Orman Mühendisliği*, 43, 4-6.
- Thompson, C. (1992). Recycled Papers: The Essential Guide, The MIT Press, London, 200p.
- TS EN 310. (1999). Wood- Based panels- Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, *TSE*, Ankara.
- TS EN 317. (1999). Particleboards and fibreboards- Determination of swelling in thickness after immersion in water, *TSE*, Ankara.
- TS EN 319. (1999). Particleboards and fibreboards- Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board, (Turkish Standard), *TSE*, Ankara.



Quadrotorlar için Eş Zamanlı Olmayan Başkalaşım Tasarımı

Oguz Kose^{1*}, Tugrul Oktay²

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Dogan MYO, Kelkit/Gumushane
Türkiye (ORCID: 0000-0002-8069-8749)

² Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Kayseri (ORCID: 0000-0003-4860-2230)

(İlk Geliş Tarihi 24 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 16 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.569785)

ATIF/REFERENCE: Kose, O. & Oktay, T. (2018). Quadrotorlar için Eş Zamanlı Olmayan Başkalaşım Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 577-588.

Öz

Quadrotor ticari, askeri ve dış mekân uygulamalarında yaygın olarak kullanılan dört rotorlu insansız hava aracı türüdür. Bu çalışmada quadrotor'un boylamasına ve yanlamasına olan uçuşunun modellenmesi, kontrolü ve uçuş sırasındaki geometri değişimi ile başkalaşım durumu ele alındı. Başkalaşım işlemi boylamasına ve yanlamasına uçuşta aynı anda gerçekleşmemektedir. Quadrotor uçuş sırasındaki geometri değişimi ya da uçuştan önce yerde iken meydana gelen geometri değişimi başkalaşım olarak ifade edilir. Quadrotor türü insansız hava araçlarında kolların uzayıp kısılması ve kol kesişim açılarının değiştirilmesi gibi çeşitli başkalaşım türleri vardır bu başkalaşım türlerine çalışmada yer verildi. Quadrotor yapısal olarak basit olmasına rağmen kontrol yapısı olarak zor ve karmaşık bir sistemden oluşur. Quadrotor matematiksel modeli non-lineer bir yapıya sahiptir. Bu yapı kullanılarak quadrotor kontrolü sağlanabilir fakat bu çalışma kapsamında lineer olmayan yapı çeşitli yöntemler kullanılarak lineer duruma getirildi. Lineer ifadeler çeşitli giriş ve çıkışlar kullanılarak durum uzay modeli yaklaşımı ile ifade edildi. Dinamik modelin elde edilmesinde quadrotor sistemlerinde yaygın olarak kullanılan Newton Euler metodu kullanıldı. Durum uzay modeli kullanılarak sistemin simülasyonu Matlab / SIMULINK ortamında gerçekleştirildi. Matlab / SIMULINK için gerekli olan parametreler ve sistemin grafiksel çizimi ise CAD programında yapıldı. Bu programdan kütle, atalet gibi parametreler elde edildi. Sistemin kontrolünde ise yaygın olarak kullanılan PID algoritması kullanıldı. Kontrol sistemi için gerekli olan K_p, K_i ve K_d gibi katsayılar ise deneysel olarak elde edildi. Von Karmana Türbülans modeli quadrotor belirli bir gürültü altında yükselme, boylamasına, yanlamasına ve yörünge izleme işlemleri için kullanıldı. Bu çalışmanın sonucu olarak eş zamanlı olmayan morphing ile boylamasına ve yanlamasına uçuş belirli bir gürültü altında PID kontrol algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar grafikler ile ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Quadrotor, Quadcopter, Başkalaşım, Durum uzay modeli, İnsansız hava aracı, PID, Kontrol

Non Simultaneous Morphing System Desing for Quadrotors

Abstract

Quadrotor is a four-rotor unmanned aerial vehicle which is widely used in commercial, military and outdoor applications. Non simultaneous morphing system desings for quadrotors was discussed. The morphing process does not occur at the same time in longitudinal and lateral flight. The geometry change during the quadrotor flight or the geometry change that occurred on the ground before the flight is expressed as the morphing. There are various types of morphing in quadrotor unmanned aerial vehicles such as elongation and elongation of the arms and changing the angle of the arm. These types of morphing are included in the study. Although the quadrotor is structurally simple, it consists of a difficult and complex system as a control structure. The quadrotor mathematical model has a non-linear structure. Quadrotor control can be achieved by using this structure, but in this study, the nonlinear structure is linearized by various methods. Linear expressions were with the approach of the state space model using various inputs and outputs.

* Sorumlu Yazar: Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Dogan MYO, Kelkit/Gumushane ,Türkiye (ORCID: 0000-0002-8069-8749), oguzkose24@gmail.com

Newton Euler method, which is widely used in quadrotor systems, was used to obtain dynamic model. Simulation of the system using state space model was performed in Matlab / SIMULINK environment. The necessary parameters for Matlab / SIMULINK and the graphical drawing of the system were performed in CAD program. From this program parameters such as mass, inertia were obtained. In the control of the system, commonly used PID algorithm was used. The coefficients such as K_p , K_i and K_d required for the control system were obtained experimentally. Von Karman Turbulence model quadrotor was used for hover, longitudinal, lateral and trajectory tracking under a certain noise. As a result of this study, longitudinal and lateral flight was performed by using PID control algorithm under a certain noise and the results were presented by graphs.

Keywords: Quadrotor, Quadcopter, Morphing, State space model, Unmanned aerial vehicle, PID, Control, Non simultaneous morphing

1. Giriş

Quadrotor is a highly maneuverable four-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) capable of vertical landing and take-off. Although the quadcopter is structurally simple, the control system is complex(Kose & Oktay, 2019). Quadrotor-type four-rotor unmanned aerial vehicles can be used in exploration, search, rescue, photography, mapping, agriculture, military services(Çoban & Oktay, 2018) and dangerous and space limited for human beings(Kumar & Michael, 2012; Mellinger, Shomin, & Kumar, 2010).

In recent years, many studies have been carried out on quadrotor type unmanned aerial vehicles. C. Hintz et. al.(Hintz, Torno, & Carrillo, 2014) in his study, introduced a multirotor capable of morphing. The intended system is capable of vertical flight, in contrast to traditional multirotor. With this system, the aim is to switch vertically from narrow areas. The multirotor presents the horizontal and vertical configuration model, and the author has shown it in an animation.

In A. Desbiez et. al.(Desbiez et al., 2017), a multirotor did a study that changed the angle between the two arms. During the flight, the multirotor arm sends signals to the junction points and changes the angle between them. The tests performed with the X-Morf robot showed that it is able to decrease and increase its span dynamically by up to 28.5% within 0.5s during flight while giving good stability and attitude tracking performances.

In G. Barbaraci(Barbaraci, 2015), he discussed the modeling and control of a multirotor with a variable geometric arm. The arm performs morphing by increasing or decreasing its angle with the Y axis. The multirotor control system uses LQR control and PID control as well.

In Gibiansky(Gibiansky, 2012), the multirotor tests the multirotor designed with simulation by changing the geometry and control parameters. Evaluate simulation results and parameters obtained from experimental flights.

T. Oktay and O. Kose(Oktay & Kose, 2019a, 2019b, 2019c), an X-type multirotor, applies morphing to both hover, longitudinal and lateral flight. Morphing multirotor arm with elongation and shortening takes place. The morphing parameters are evaluated in flight in the hover and longitudinal. According to the simulation results, morphing takes place successfully and there is no change in multirotor performance and stability.

T. Oktay and S. Coban(Oktay & Coban, 2017), in their study, discussed the simultaneous both longitudinal and lateral morphing tactical unmanned aerial vehicle. In order to obtain the morphing parameters, they applied simultaneous perturbation stochastic approximation (SPSA).

2. Materials and Methods

2.1. Introduction of Quadrotor Movements

The quadrotor consists of four motors and propellers. Each rotor produces a thrust. If the total thrust produced by the four-rotor is equal to the weight of the quadrotor, the quadrotor will remain in the air hover. As shown in Figure 1, the rotor pairs (1-3, 2-4) are opposite to each other but the pairs rotate in the same direction. If the quadrotor moves in the vertical axis, the revolutions of all the rotors must be increased evenly and reduced. If the rotor revolutions are increased by the equal amount, the total thrust produced will be greater than the quadrotor weight and the quadrotor will be accelerated upwards. If the rotor revolutions are reduced by an equal amount, the total thrust produced will be less than the weight of the quadrotor, so the acceleration will decrease and the quadrotor will start to descend.

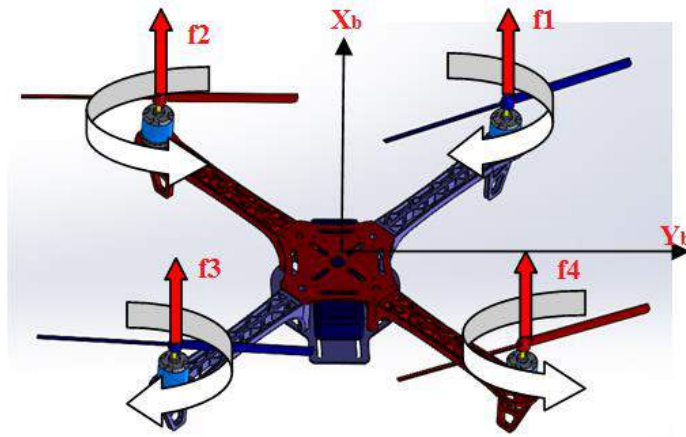


Figure 1: Quadrotor

As in Figure 2, the speeds of the rotors 2 and 3 should be increased and the speeds of the rotors 1 and 4 should be reduced in order to roll(ϕ) the quadcopter X axis.

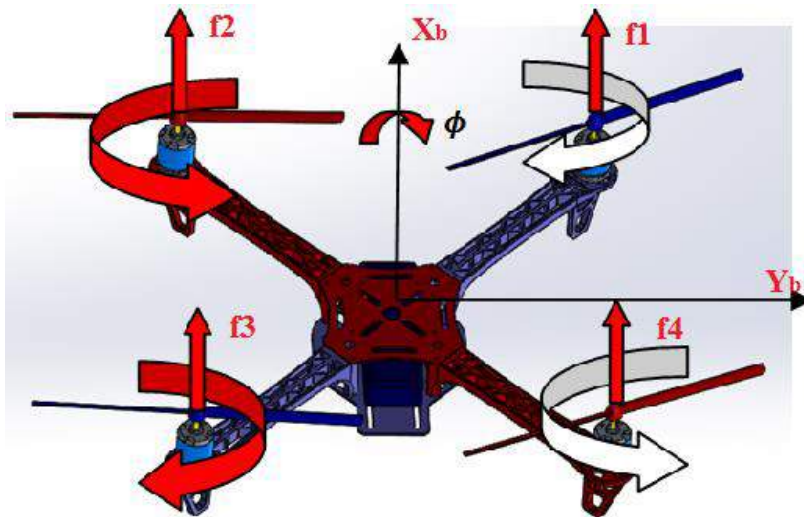


Figure 2: Roll Motion

As in Figure 3, the speeds of the rotors 3 and 4 should be increased and the speeds of the rotors 1 and 2 should be reduced in order to make the pitch(θ) movement of the quadrotor in the Y axis. In this case quadrotor will move forward.

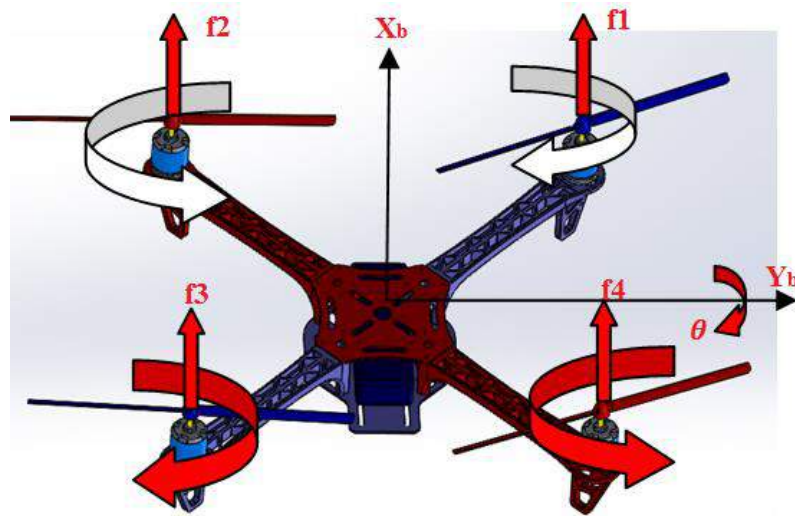


Figure 3: Pitch Motion

As in Figure 4, it is necessary to increase or decrease the speeds of the co-rotors simultaneously to perform the yaw(ψ) movement. When the rotor speeds 2 and 4 are increased and the rotor speeds 1 and 3 are reduced, the yaw movement takes place.

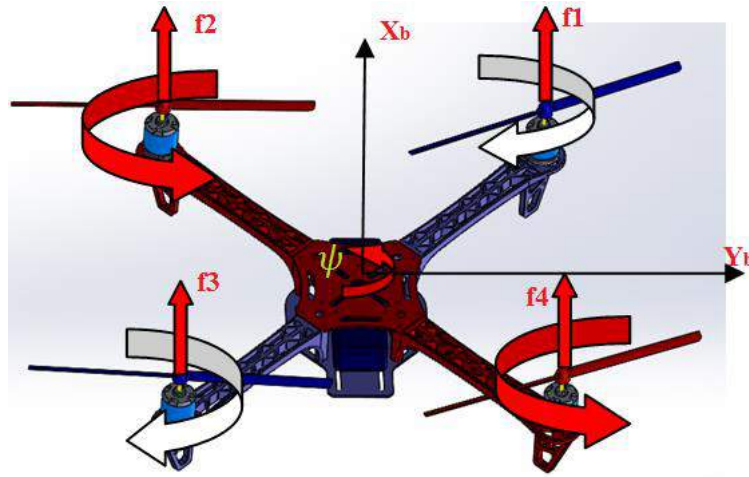


Figure 4: Yaw Motion

2.2. Quadrotor Dynamic Model

The Newton Euler approach is used to obtain quadrotor motion equations. In this approach, the following opinions apply (Marks, Whidborne, & Yamamoto, 2012).

- the structure is rigid and symmetric,
- the propellers are rigid,
- the thrust and the drag are proportional to the square of speed
- ground effect is neglected,

The equations used for the lateral flight are as follows:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= u \\ \dot{z} &= w \\ \dot{u} &= -g\theta \\ \dot{w} &= \frac{f_t}{m} \\ \dot{q} &= \frac{\tau_y}{I_y} \\ \dot{\theta} &= q \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

The equations used for the lateral flight are as follows:

$$\left. \begin{aligned} \dot{y} &= v \\ \dot{v} &= g\phi \\ \dot{r} &= \frac{\tau_z}{I_z} \\ \dot{p} &= \frac{\tau_y}{I_y} \\ \dot{\phi} &= p \\ \dot{\psi} &= r \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

From these equations x, y, z and ϕ, θ, ψ quadcopter holds the linear and angular position. u, w, q, v, p and r hold the linear and angular velocities.

In the equations of motion I_x, I_y and I_z denotes the diagonal inertia matrix (Domingue, 2009; Sabatino, 2015):

$$I = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

The mathematical expression of the input forces of quadrotor is as follows:

$$\begin{aligned}
 f_t = U_1 &= b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\
 \tau_x = U_2 &= bl(-\Omega_1^2 - \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\
 \tau_y = U_3 &= bl(\Omega_1^2 - \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\
 \tau_z = U_4 &= d(\Omega_1^2 - \Omega_2^2 + \Omega_3^2 - \Omega_4^2)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

The inputs of motion equations are propeller speeds. U_1 , U_2 , U_3 and U_4 are related to throttle, roll, pitch and yaw respectively (Bresciani, 2008). For lateral flight, U_2 input is used. Where l the distance between any rotor and the center of the quadrotor, b is the thrust factor and d is the drag factor and Ω is propeller speed.

2.3. Quadrotor Morphing and State Space Model

Researchers have long realized that birds can change their body positions during the flight to perform certain maneuvers and adjust their aerodynamic structures for the appropriate flight situation. This body shape has been termed ‘morphing’ in specific literature.

Morphing is a new developmental aspect of unmanned aerial vehicles. This phenomenon is generally associated with aerodynamic and uav structure, so effective control structures should be chosen well in order to be able to control the uav quickly and stably (Barbu, Reginatto, Teel, & Zaccarian, 1999; Jha & Kudva, 2004)

In four-rotor unmanned aerial vehicles, morphing is done by methods such as arm elongation or shortening or by changing the angles between the arm. Morphing can be used as a control element to change the flight dynamics (Prisacariu, Sandru, & Rău, 2011)

This type of morphing is called passive morphing if morphing takes place before the quadrotor takes flight. If Morphing occurs during flight, this type is called active morphing (Oktay & Sal, 2016).

Quadrotor uses active morphing because it performs morphing during flight. Accordingly, the change of arm is shown in the figure below.

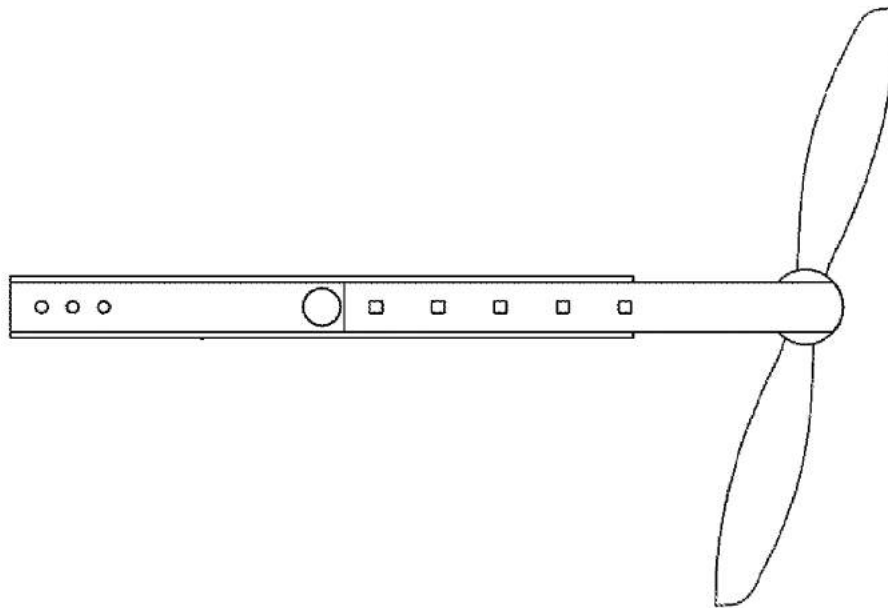


Figure 5: Normal Arm Length

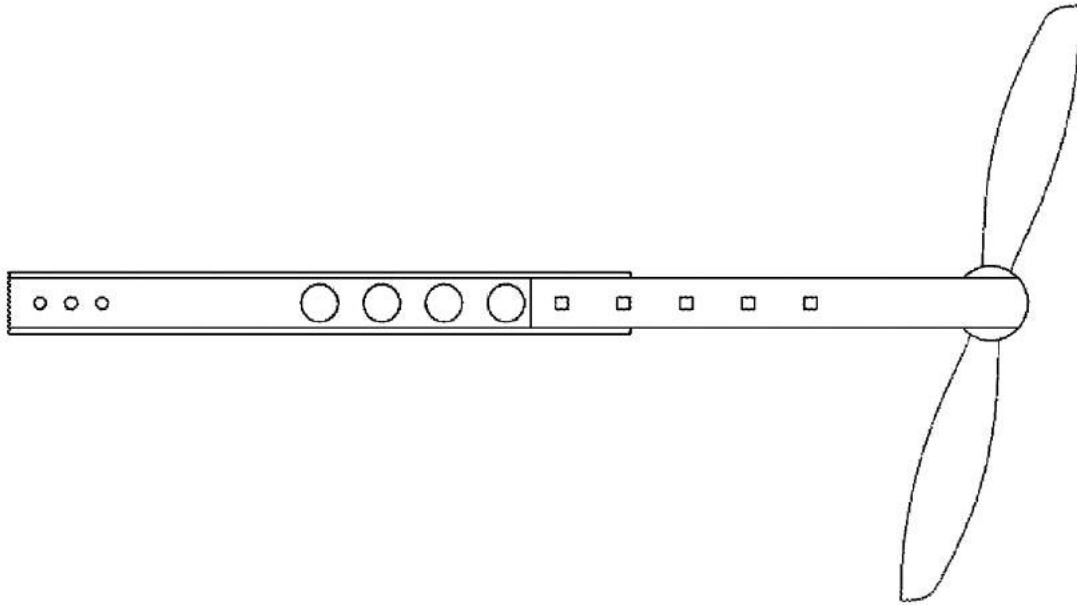


Figure 6: The extended Arm (10%)

The state space model is a mathematical model of a physical system expressed by inputs and outputs. In the state space model, the physical system is expressed by first order differential equations. In general, the state space of a linear system is entered in the following form, p input, q output and n state variable.

$$\dot{x}=Ax(t)+Bu(t)$$

$$y=Cx(t)+Du(t)$$

Where,

$x(t)$ = State vector,

$y(t)$ = Output vector,

$u(t)$ = Input or control vector,

A= System matrix,

B= Input matrix,

C= Output matrix,

D= Feedforward matrix.

Accordingly, quadrotor longitudinal state space model are as follows:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ \dot{u} \\ \dot{w} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -g \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \\ u \\ w \\ q \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1/m & 0 \\ 0 & 1/I_y \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_t \\ \tau_y \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \\ u \\ w \\ q \\ \theta \end{bmatrix}$$

Quadrotor longitudinal state space model are as follows:

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{v} \\ \dot{p} \\ \dot{r} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ v \\ p \\ r \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1/I_x & 0 \\ 0 & 1/I_y \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_y \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ v \\ p \\ r \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix}$$

2.4. Quadrotor Control System

PID algorithm was used for quadrotor control. PID controller is a feedback controller which is widely used in the automotive industry, robotics, aviation and many other areas of the world because of its performance, strong structure and simple. The overall structure of the PID controller is like Figure 7.

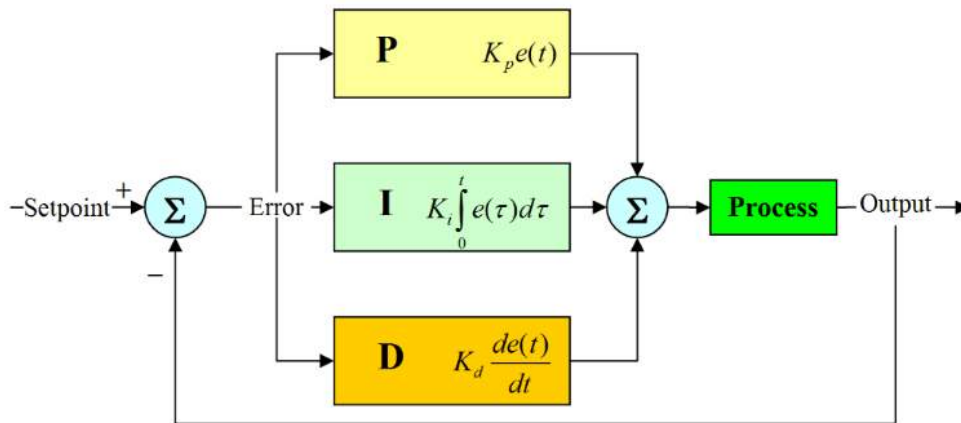


Figure 7: General structure of PID controller

PID controller output equation is as follows:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d de(t)/d(t) \tag{5}$$

Where, K_p proportional gain, K_i integral gain and K_d is the derivative gain, $e(t)$ the error caused by the difference between the reference and response of the system. The proportional gain is used to control the rise time of system response. The integral gain is used to eliminate steady-state error. The derivative gain allows reducing the amount of overflow and developing a transient response. The success of PID controller depends on proper selection of gain parameters. Table 1 shows the effect of such increased parameters on a controlled system.

Table 1: Effects of independent P,I and D tuning

Closed loop response	Rise Time	Overshoot	Settling time	Steady-state error	Stability
Increasing k_p	Decrease	Increase	Small increase	Decrease	Degrade
Increasing k_i	Small decrease	Increase	Increase	Large decrease	Degrade
Increasing k_d	Small decrease	Decrease	Decrease	Minor change	Improve

According to this, the PID expression required for the longitudinal and lateral flight:

$$u(t) = K_{p\theta} e(t) + K_{i\theta} \int_0^t e(v) d(v) + K_{d\theta} \frac{de(t)}{d(t)} \tag{6}$$

$$u(t) = K_{p\phi} e(t) + K_{i\phi} \int_0^t e(v) d(v) + K_{d\phi} \frac{de(t)}{d(t)} \tag{7}$$

Accordingly, the quadrotor longitudinal and lateral flight PID block is as follows:

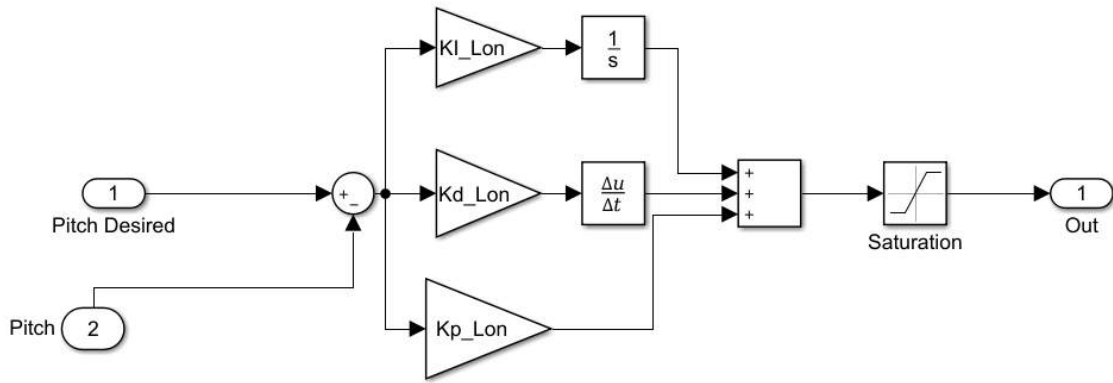


Figure 8: Longitudinal Flight PID Block

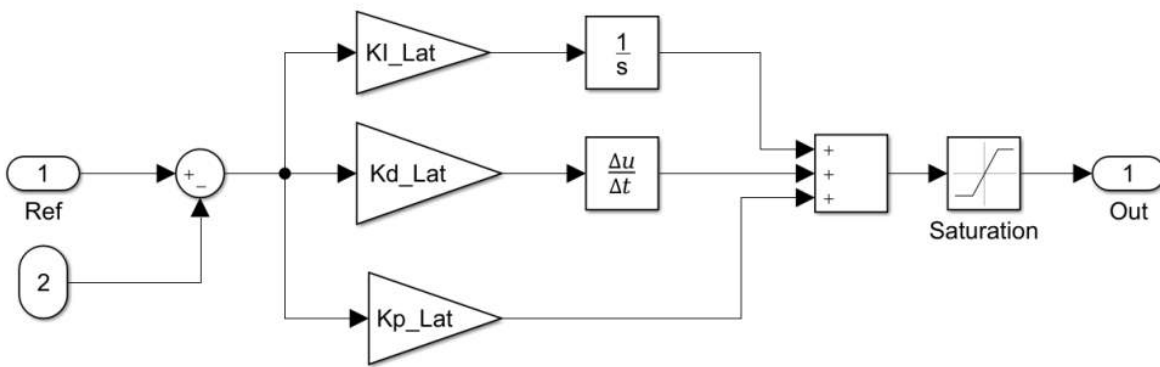


Figure 9: Lateral Flight PID Block

3. Results and Discussion

Figure 10 shows the case where quadrotor is not morphing. Figure 11 shows the case of morphing.

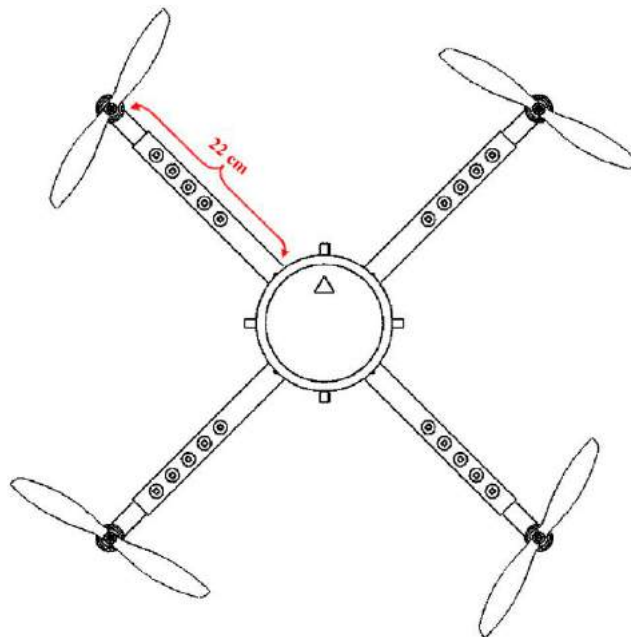


Figure 10: Without Morphing

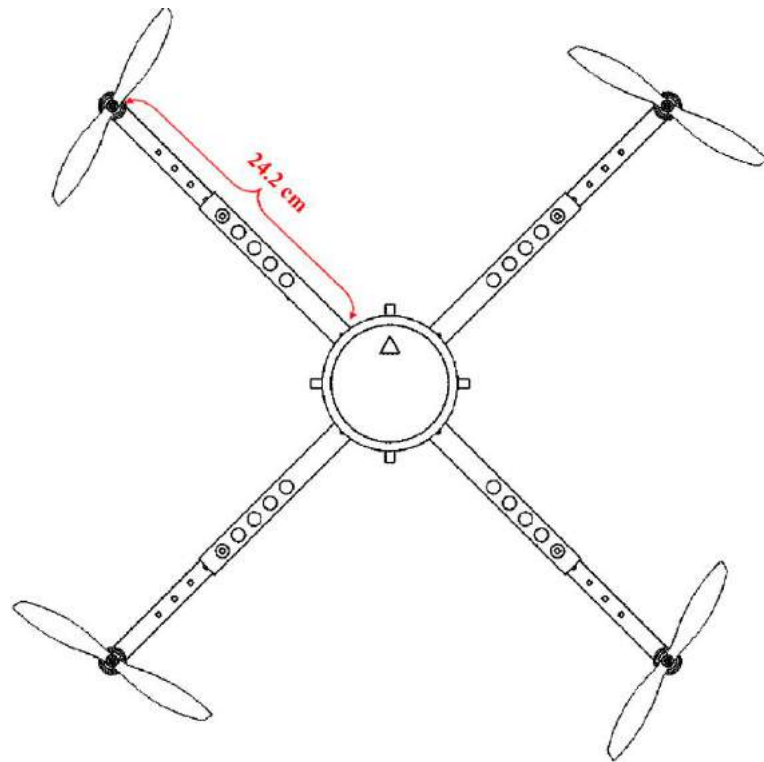


Figure 11: Quadrotor Morphing

When morphing occurs in quadrotor, the moment of inertia(I) changes. The reason for this change is the change in arm lengths. If quadrotor $L = 22$ cm is taken, the mass and inertia moment properties are as in Table 2.

If the length of the arm extended by 10% during the flight $\Delta L = 2.2$ cm is calculated and the arm is extended by 2.2 cm. In this case the new $L = 24.2$ cm. Accordingly, the new values in Table 3:

Table 2: Quadrotor Data Without Morphing

QUADROTOR
$R_{plate}=6,20$ cm
$M_{plate}=20$ gr
$M_{arm}=40$ gr
$M_{motor}=20$ gr
$M_{quadrotor}=820$ gr
$L=22$ cm
$b=1.0741 \times 10^{-7}$
$d=1.8099 \times 10^{-9}$
$C_d=2.6$
$I_x=0.089$
$I_y=0.089$
$I_z=0.0177$

Table 3: Quadrotor Data Morphing State

QUADROTOR
$R_{plate}=6,20$ cm
$M_{plate}=20$ gr
$M_{arm}=40$ gr
$M_{motor}=20$ gr
$M_{quadrotor}=820$ gr
$L=24.2$ cm
$b=1.0741 \times 10^{-7}$
$d=1.8099 \times 10^{-9}$
$C_d=2.6$
$I_x=0.091$
$I_y=0.091$
$I_z=0.018$

The pitching PID and turbulence model are given as input to the state space model as in Figure 12.

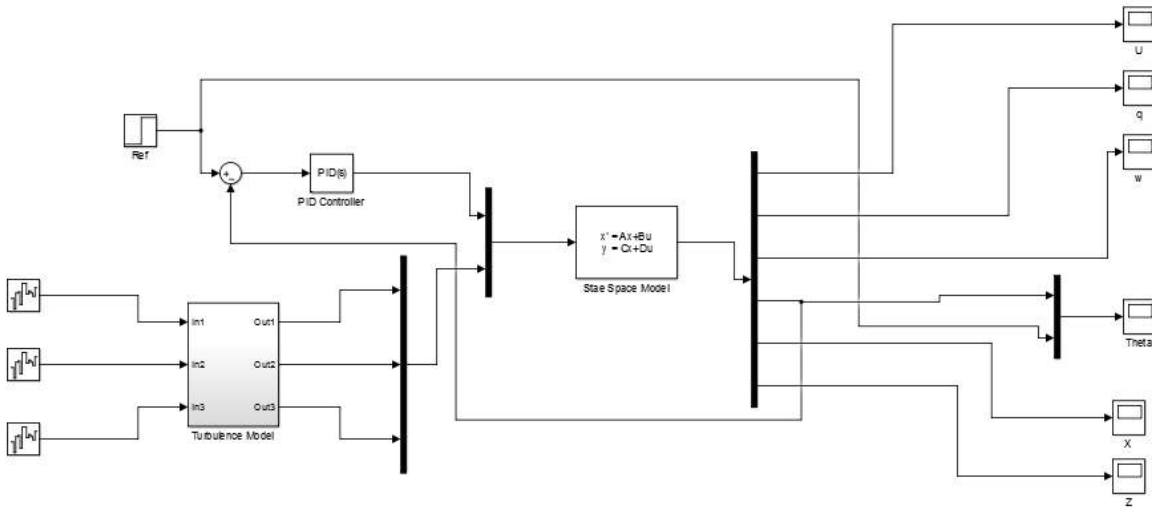


Figure 12: Longitudinal Flight Simulink Model

In longitudinal flight, the PID coefficients remain the same in both the non-morphing and morphing states. The following table shows the PID coefficients.

Table 4: Longitudinal Flight PID Coefficient

P	I	D
50	5	50

Longitudinal flight simulation results are as follows.

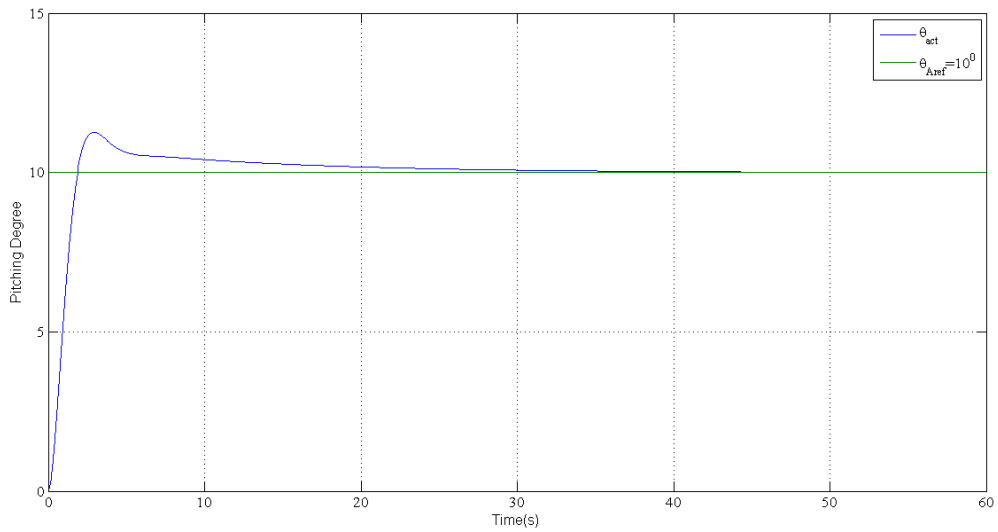


Figure 13: Longitudinal Flight Simulation Result

The lateral flight PID and turbulence model are given as input to the state space model as in Figure 14.

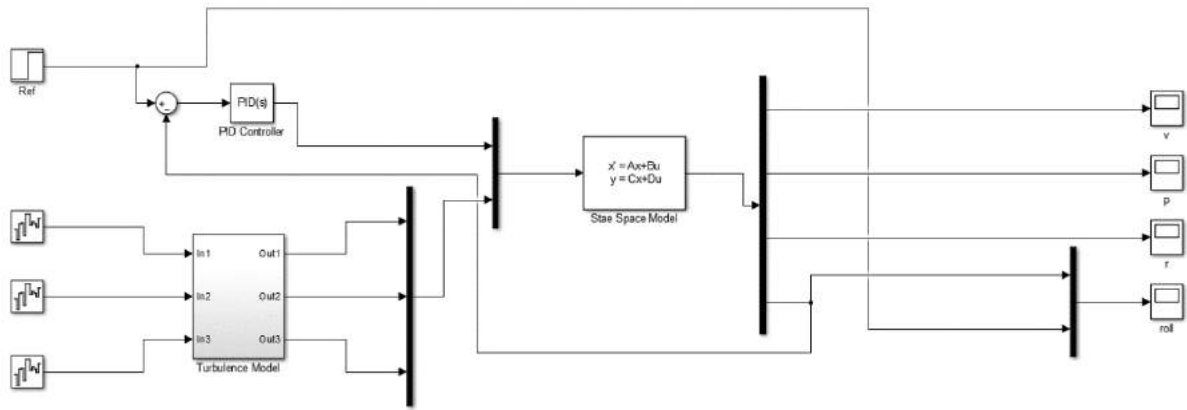


Figure 14: Lateral Flight Simulink Model

In lateral flight, the PID coefficients remain the same in both the non-morphing and morphing states. The following table shows the PID coefficients.

Table 5: Lateral Flight PID Coefficient

P	I	D
100	100	15

Lateral flight simulation results are as follows.

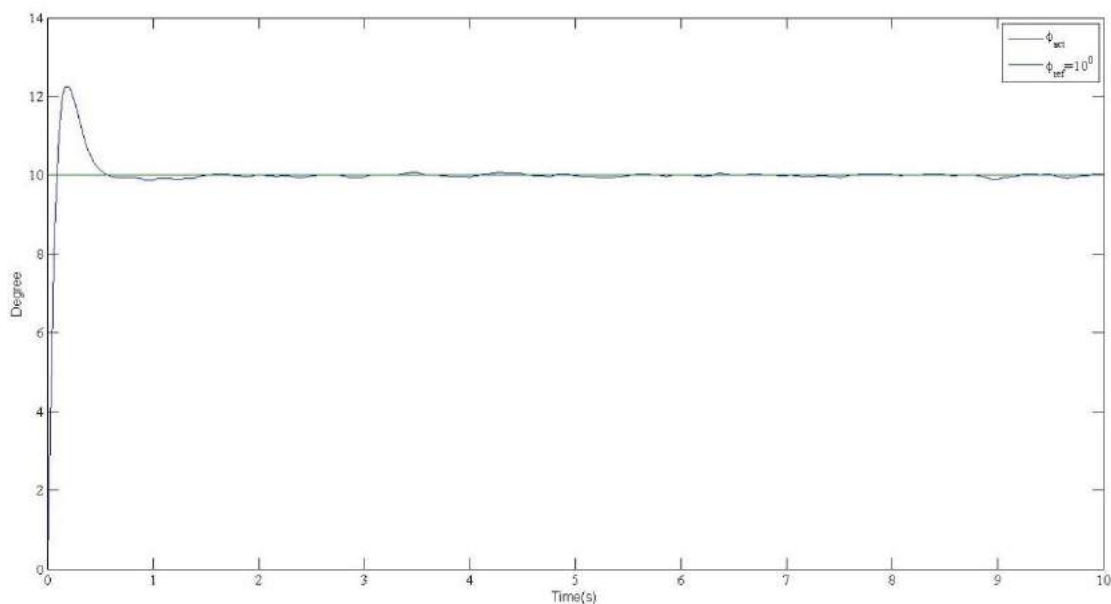


Figure 15: Lateral Flight Simulation Result

4. Conclusions

In this study, non simultaneous morphing system desings for quadrotors was discussed. Also, the morphing situation during quadrotor longitudinal and lateral flight is discussed. The quadrotor dynamic model was obtained by using Newton Euler equations. The Von Karman Turbulence Model was used as an aerodynamic side effect on the quadrotor movement. The PID algorithm was used to control the quadrotor.

Morphing does not affect longitudinal flight status. This situation can be seen both from the simulation result and from the following rise time, settling time and overshoot values.

Table 6: Longitudinal Flight System Characteristic

	L=22 cm(No morphing)	L=24.2 cm(% 10 morphing)
Rise Time	1.26 second	1.26 second
Settling Time	18.4 second	18.4 second
Overshoot	12.6 %	12.6 %

Morphing has affected the lateral flight. This situation can be seen both from the simulation result and from the following rise time, settling time and overshoot values.

Table 7: Lateral Flight System Characteristic

	L=22 cm(No morphing)	L=24.2 cm(% 10 morphing)	L=26.4(% 20 morphing)
Rise Time	0.0631 second	0.064 second	0.065 second
Settling Time	0.476 second	0.479 second	0.482 second
Overshoot	22.4 %	22.7 %	22.9 %

In future studies, PID coefficients and morphing amount will be determined using optimization algorithms. This will improve the design performance criteria and allow the quadrotor to fly more stable and performance.

5. References

- Barbaraci, G. (2015). Modeling and control of a quadrotor with variable geometry arms. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(2), 35-57.
- Barbu, C., Reginatto, R., Teel, A., & Zaccarian, L. (1999). *Anti-windup design for manual flight control*. Paper presented at the Proceedings of the 1999 American Control Conference (Cat. No. 99CH36251).
- Bresciani, T. (2008). Modelling, identification and control of a quadrotor helicopter. *MSc Theses*.
- Çoban, S., & Oktay, T. (2018). Legal and Ethical Issues of Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Aviation*, 2(1), 31-35.
- Desbiez, A., Expert, F., Boyron, M., Diperi, J., Viollet, S., & Ruffier, F. (2017). *X-Morf: a crash-separable quadrotor that morfs its X-geometry in flight*. Paper presented at the 2017 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS).
- Domingue, J. M. (2009). *Quadrotor Prototype*. Universidade Tecnica de Lisboa. Dissertacio,
- Gibiensky, A. (2012). Quadcopter dynamics, simulation, and control. *Andrew.gibiensky.com*.
- Hintz, C., Torno, C., & Carrillo, L. R. G. (2014). *Design and dynamic modeling of a rotary wing aircraft with morphing capabilities*. Paper presented at the 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS).
- Jha, A. K., & Kudva, J. N. (2004). *Morphing aircraft concepts, classifications, and challenges*. Paper presented at the Smart Structures and Materials 2004: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies.
- Kose, O., & Oktay, T. (2019). Dynamic Modeling and Simulation of Quadrotor for Different Flight Conditions. *European Journal of Science and Technology*(15), 132-142.
- Kumar, V., & Michael, N. (2012). Opportunities and challenges with autonomous micro aerial vehicles. *The International Journal of Robotics Research*, 31(11), 1279-1291.
- Marks, A., Whidborne, J. F., & Yamamoto, I. (2012). *Control allocation for fault tolerant control of a VTOL octorotor*. Paper presented at the Proceedings of 2012 UKACC International Conference on Control.
- Mellinger, D., Shomin, M., & Kumar, V. (2010). *Control of quadrotors for robust perching and landing*. Paper presented at the Proceedings of the International Powered Lift Conference.
- Oktay, T., & Coban, S. (2017). Simultaneous longitudinal and lateral flight control systems design for both passive and active morphing UAVs. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 23(5), 15-20.
- Oktay, T., & Kose, O. (2019a). *The Effect of Collective Morphing on the Lateral Flight in Quadcopter*. Paper presented at the Umteb 6. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi, Iğdır.
- Oktay, T., & Kose, O. (2019b). *The Effect of Collective Morphing on the Longitudinal Flight in Quadcopter*. Paper presented at the MAS INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESSON MATHEMATICS, ENGINEERING, NATURAL ANDMEDICAL SCIENCES-III, Şanlıurfa.
- Oktay, T., & Kose, O. (2019c). *The Effect of Collective Morphing on the Vertical Flight in Quadcopter*. Paper presented at the MAS INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESSON MATHEMATICS, ENGINEERING, NATURAL ANDMEDICAL SCIENCES-III, Şanlıurfa.
- Oktay, T., & Sal, F. (2016). Combined passive and active helicopter main rotor morphing for helicopter energy save. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38(6), 1511-1525.
- Prisacariu, V., Sandru, V., & Rău, C. (2011). *Introduction morphing technology in unmanned aircraft vehicles (UAV)*. Paper presented at the International Conference of Scientific Paper, AFASES.
- Sabatino, F. (2015). Quadrotor control: modeling, nonlinearcontrol design, and simulation. In.



Paylaşımli Elektrik Enerjisi Depolama Sisteminin Kullanımına Dayanan Bir Enerji Yönetimi Yaklaşımı

Akın Taşcıkaraoğlu^{1*}, Ozan Erdiñç²

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8696-6516)

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0635-9033)

(İlk Geliş Tarihi 8 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 16 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.574062)

ATIF/REFERENCE: Taşcıkaraoğlu, A. & Erdiñç, O. (2019). Paylaşımli Elektrik Enerjisi Depolama Sisteminin Kullanımına Dayanan Bir Enerji Yönetimi Yaklaşımı. *European Journal of Science and Technology*, (16), 589-604.

Öz

Bu çalışmada, bir paylaşımli elektrik enerjisi depolama sistemi kullanan ve aynı bölge içerisinde yer alan belli bir sayıdaki evsel tüketicinin toplam enerji maliyetini en aza indirebilmek ve bu evlerin bağı olduğu dağıtım şebekesindeki pik yük talebini azaltabilmek amacıyla bir tahmin algoritmasına dayanan bir enerji yönetimi yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen yöntem, farklı güçlerde fotovoltaiik (PV) panellere sahip olan evlere ait elektrik üretimi ve tüketimi miktarlarını, bu değerlere ait farklı zaman ölçeklerindeki tahminleri ve bir gerçek zamanlı fiyatlamaya elektrik tarifesine ait değişken fiyatları dikkate alarak, evler tarafından üretilen elektrik enerjisinden en yüksek seviyede faydalanmayı hedeflemektedir. Bu amaçla, her bir eve ait üretim, öncelikle evin kendisinin tüketimini karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. İhtiyaç fazlası üretimin mevcut olması durumunda ise üretilen enerji belirtilen değişkenler dikkate alınarak bölge içerisindeki diğer evlerin tüketimi için kullanılmakta, paylaşımli depolama sisteminde depolanmakta veya şebekeye satılmaktadır. Önerilen yaklaşımına göre evler, şebekeye veya bölgedeki diğer evlere sağladıkları enerji miktarı oranında enerji kredileri kazanmaktadırlar ve bu kredilere karşılık gelecek miktarda enerjiyi paylaşımli enerji depolama sisteminden, özellikle elektrik satın alma fiyatının yüksek olduğu zaman dilimlerinde kullanarak önemli bir maddi kazanç elde etmektedirler. Belirli bir sayıda evsel tüketiciye ait gerçek yük talebi ve PV güç üretimi verileri kullanılarak yapılan benzetim çalışmalarında, paylaşımli enerji depolama sisteminin var olmadığı durumda elde edilen sonuçlar ile ve depolama sisteminin var olduğu ancak ilgili tahmin değerlerinin göz önüne alınmadığı durumda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Belirtilen karşılaştırmalar, önerilen paylaşımli enerji depolama sistemi ve tahmin algoritması kullanımına dayanan enerji yönetimi yaklaşımının son kullanıcı açısından enerji maliyetini azaltmakta ve dağıtım sistemi işletmecisi açısından pik yük talebini sınırlamakta etkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji yönetimi, fotovoltaiik güç tahmini, fotovoltaiik sistemler, paylaşımli enerji depolama sistemi, yük talebi tahmini.

An Energy Management Approach Based on the Use of Shared Electrical Energy Storage System

Abstract

In this study, an energy management approach based on a forecasting algorithm is proposed in order to minimize the total energy cost of a certain number of residential consumers using a shared electrical energy storage system and located in the same area, and to reduce the peak load demand in the distribution network to which these houses are connected. The proposed method aims to utilize the electricity produced by the houses at the highest level by taking into account the amounts of electricity production and consumption of

* Corresponding Author: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8696-6516, akintascikaraoglu@mu.edu.tr

houses with photovoltaic (PV) panels of different powers, forecasts of these values at different time scales and variable prices of a real-time pricing electricity tariff. For this purpose, the production of each house is used primarily to meet the consumption of the house itself. In case of surplus production, the produced energy is used for the consumption of other houses in the area, stored in the shared storage system or sold to the network by taking the mentioned variables into account. According to the proposed approach, houses earn energy credits in proportion to the amount of energy they provide to the grid or other houses in the area, and they obtain a significant financial gain by using the corresponding amount of energy from the shared energy storage system, especially in the periods of high electricity purchase price. In the simulation studies carried out by using real load demand and PV power production data for a certain number of residential consumers, the comparisons are performed with the results obtained in the absence of a shared energy storage system and the results obtained in case the storage system exists but the relevant forecast values are not taken into consideration. These comparisons have shown that the proposed energy management approach based on the use of shared energy storage system and forecasting algorithm is effective in reducing the energy cost for the end user and limiting the peak load demand for the distribution system operator.

Keywords: Energy management, load demand forecasting, photovoltaic power forecasting, photovoltaic systems, shared energy storage system.

1. Terimler Dizisi

A. Küme ve İndisler

e (E) ev indisi (kümesi).
 z (Z) zaman indisi (kümesi).

B. Parametreler

DV^{BAT} paylaşımlı bataryanın deşarj verimi.
 $E^{kredi,ilk}$ e evinin başlangıç anındaki kredisi [kWh].
 E_e^{kredi} sistem operatörü tarafından belirlenen e evine ait kredi limiti [kWh].
 $L^{BAT,deşarj}$ paylaşımlı bataryanın deşarj hızı limiti [kW].
 $L^{BAT,sarj}$ paylaşımlı bataryanın şarj hızı limiti [kW].
 $P_{e,z}^{PV,kullanılan}$ z periyodunda iç tüketimi karşılamak için kullanılan e evine ait PV gücünün miktarı [kW].
 $P_{e,z}^{PV,uretim}$ z periyodunda e evinin PV sisteminin mevcut gücü [kW].
 S yeterince büyük pozitif bir sabit.
 $SOE^{BAT,ilk}$ paylaşımlı bataryanın başlangıç anındaki şarjlılık durumu [kWh].
 $SOE^{BAT,maks}$ paylaşımlı bataryanın en yüksek şarjlılık durumu [kWh].
 $SOE^{BAT,min}$ paylaşımlı bataryanın en düşük şarjlılık durumu [kWh].
 SV^{BAT} paylaşımlı bataryanın şarj verimi.
 $Y_{e,z}$ z periyodunda e evine ait esnek olmayan yük [kW].
 $Z^{DR,baslangic}$ talep cevabı uygulamasının başlangıç zamanı.
 $Z^{DR,bitis}$ talep cevabı uygulamasının bitiş zamanı.
 $\lambda_z^{alınan}$ enerjinin satın alındığı fiyat [TL/MWh]
 $\lambda_z^{satılan}$ enerjinin satıldığı fiyat [TL/MWh]
 ΔZ zaman aralığı süresi [h].

C. Değişkenler

$E_{e,z}^{kredi}$ z periyodunda e evinin elde ettiği toplam kredi [kWh].
 e Gauss gürültüsü.
 $P_{e,z}^{alınan,BAT}$ z periyodunda e evinin paylaşımlı bataryadan çektiği toplam gücün miktarı [kW].
 $P_{e,z}^{alınan,S}$ z periyodunda e evinin şebekeden çektiği toplam gücün miktarı [kW].
 $P_{e,z}^{alınan,T}$ z periyodunda e evinin çektiği toplam güç [kW].
 $P_{e,z}^{alınan,Y}$ z periyodunda e evinin yerel komşu alan ağından çektiği gücün miktarı [kW].
 $P_{e,z}^{BAT}$ z periyodunda e evinin paylaşımlı bataryadan çektiği toplam gücün miktarı [kW].
 $P_z^{BAT,deşarj}$ z periyodunda paylaşımlı bataryanın deşarj gücü [kW].
 $P_z^{BAT \rightarrow K}$ z periyodunda komşu alan ağı sistemine verilen paylaşımlı batarya gücünün miktarı [kW].
 $P_z^{BAT,sarj}$ z periyodunda paylaşımlı bataryanın şarj gücü [kW].
 $P_z^{BAT \rightarrow TR}$ z periyodunda trafo aracılığıyla şebekeye verilen paylaşımlı batarya gücünün miktarı [kW].
 $P_z^{S \rightarrow TR}$ z periyodunda trafo aracılığıyla şebekeden komşu alan ağına ve paylaşımlı bataryaya akan toplam güç [kW].
 $P_z^{K \rightarrow BAT}$ z periyodunda paylaşımlı bataryaya verilen komşu alan ağı ihtiyaç fazlası gücün miktarı [kW].

$P_z^{K \rightarrow TR}$	z periyodunda komşu alan ağından trafoya akan toplam güç [kW].
$P_{h,t}^{satılan,BAT}$	z periyodunda e evinin paylaşımlı bataryaya verdiği toplam güç [kW].
$P_{e,z}^{satılan,S}$	z periyodunda e evinin OBN'ye verdiği şebekeye geri akan güç miktarı [kW].
$P_{e,z}^{satılan,Z}$	z periyodunda e evinin OBN'ye verdiği toplam güç [kW].
$P_{e,z}^{satılan,Y}$	z periyodunda e evinin OBN'ye verdiği komşu alan ağı içerisinde yerel olarak kullanılan gücün miktarı [kW].
$P_z^{TR \rightarrow BAT}$	z periyodunda trafodan paylaşımlı bataryaya akan toplam güç [kW].
$P_z^{TR \rightarrow K}$	z periyodunda trafodan komşu alan ağına akan toplam güç [kW].
$P_z^{TR \rightarrow S}$	z periyodunda komşu alan ağından ve paylaşımlı bataryadan trafo aracılığıyla şebekeye akan toplam güç [kW].
SOE_z^{BAT}	z periyodunda paylaşımlı bataryanın şarjlılık durumu [kWh].
u_z^1	ikili değişken. z periyodunda komşu alan ağı trafodan güç çekiyorsa 1; aksi halde 0.
u_z^2	ikili değişken. z periyodunda paylaşımlı batarya şarj oluyorsa 1; aksi halde 0.
u_z^3	ikili değişken. z periyodunda e evi OBN'den güç çekiyorsa 1; aksi halde 0.
u_z^4	ikili değişken. Sistem operatörü tarafından tanımlanan kredi limitine ulaştıktan sonra z periyodunda e evi OBN'ye enerjiyi geri veriyorsa 1; aksi halde 0.
X	katsayılar matrisi.
y	çıkış vektörü.

2. Giriş

Elektrik güç sistemleri içerisindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasitelerinin hızlı bir şekilde artması sonucunda sistemlerde enerji arzı ve talebi dengesinin sağlanmasında sorunlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Özellikle sabit olması gereken gerilim ve frekans değerlerinde önemli dalgalanmalara sebep olan bu sorunların çözümü için gerçek uygulamalarda ve literatürde en çok benimsenen yaklaşımlar talep cevabı uygulamaları [1,2], elektrik enerjisi depolama sistemlerinin kullanımı [3,4] ve tahmin yöntemlerinin mevcut sistemlere entegre edilmesidir [5,6].

Belirtilen çözüm yöntemleri içerisinde talep cevabı uygulamaları, özellikle yüksek güç tüketimi değerlerine sahip olan endüstriyel ve ticari yükler ile birlikte kullanıldıklarında şebekelerdeki enerji talebinin kontrol edilmesinde oldukça etkili olmaktadır. Son yıllarda ise şebekelerdeki toplam tüketim değerleri içerisinde evlere ait olan payın önemli oranda artması ile birlikte, belli bir sayıdaki evin de enerji arz talebi dengesinin sürdürülebilmesinde oldukça etkili olabileceği görülmüştür [7-9]. Bu nedenle, enerji dağıtım sistemlerindeki yük taleplerini en düşük maliyetlerle ve en az güç kaybı ile karşılayabilmek amacıyla literatürdeki çok sayıda çalışmada evsel ölçekteki talep cevabı uygulamalarına dayanan yöntemler geliştirilmiştir. Muratori ve Rizzoni [10] evsel kontrol edilebilir elektrikli eşyaların kullanımında en uygun planlamayı yaparak şebekeye destek sağlayabilecek bir enerji yönetimi yaklaşımı önermişlerdir. Klimaları ve ötelenebilir (shiftable) yükleri kontrol ederek şebekelerdeki enerji iletimi tıkanıklığı (congestion) sorununa bir çözüm bulabilmek ve tüketici maliyetleri açısından bir tasarruf sağlamak amacıyla Siano ve Sarno [7], yük talebindeki, hava koşullarındaki ve kullanıcı tercihlerindeki belirsizlikleri modellemeye çalışmışlardır. Tüketicilerin maliyetlerini azaltmak ve aynı zamanda şebekedeki pik yük talebini farklı zamanlara yayabilmek amacıyla evsel yükleri sınıflandıran ve bu sınıflara göre bir yük planlaması gerçekleştiren bir yöntem ise [11]'de önerilmiştir. Bazı çalışmalarda ise şebekelere sağlanabilecek faydalardan daha çok tüketicilerin elde edebileceği faydalara odaklanılmıştır. Hu vd. [12] tüketicilerin evsel talep cevabı programlarına katılımını artırabilmek amacıyla bir konfor göstergesi tanımlamışlardır ve tüketicilerin katılım oranlarına göre belirlenen bir ödül sistemi geliştirmişlerdir. Tüketicilerin enerji kullanım maliyetlerini azaltabilmek amacıyla benzeri bir teşvik mekanizması [2]'de önerilmiştir. Farklı evsel cihazların talep cevabı programları içerisinde kullanılmaya uygunlukları ve kullanılmaları durumunda sağlayabilecekleri ekonomik faydalar ise [13]'te ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir. Evsel talep cevabı programlarının tüketicilere ve dağıtım sistemi işletmecilerine sağladıkları faydaları inceleyen çok sayıda çalışma ve bu çalışmalara ait özet bilgiler [14] ve [15]'te bulunabilir.

Literatürdeki çeşitli çalışmalarda ise talep cevabı yöntemlerinin etkinliğini artırabilmek amacıyla evlerin üreten tüketiciler (prosumers) olmaları durumu göz önüne alınmıştır. Lu vd. [16] fotovoltaiik (PV) panellere sahip belirli bir sayıda evin tüketim değerlerini, üretim değerlerine göre ayarlayabilmek ve bu sayede bir enerji depolama sistemine olabilecek ihtiyacı ortadan kaldırmak amacıyla talep cevabı tabanlı bir enerji yönetimi algoritması önermişlerdir. Aynı amaçla Venizelou vd. [17] çok sayıda ev için yeni bir kullanım zamanlı (time-of-use - ToU) tarife geliştirmişlerdir. Bir depolama sistemine sahip olmayan oldukça fazla sayıda üreten tüketicinin talep cevabı programlarına katılmasıyla elde edebileceği karı artırabilmek amacıyla bir model öngörülü kontrol yöntemi ise [18]'de sunulmuştur.

Evsel yüklerle birlikte elektrik enerjisi depolama sistemlerinin kullanımı, bazı kısa süreli üretim - tüketim dengesizlikleri durumunda şebekeye enerji verilerek veya şebekeden enerji alınarak yaşanabilecek sorunların önüne geçmeyi kolaylaştırmaktadır. Belirtilen enerji depolama sistemlerinin bir diğer faydası ise bu sistemlerin, değişken bir üretime sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimini, üretim miktarının tüketimden fazla olduğu zamanlarda fazla enerjiyi depolayarak, tüketimin fazla olduğu zamanlarda ise depolanan enerjiyi kullanarak daha dengeli ve belli bir ölçüde kontrol edilebilir hale getirmesidir [19,20]. Bu nedenle evsel uygulamalarda yenilenebilir enerji kaynakları genellikle depolama sistemleri ile birlikte kullanılmaktadırlar. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, evsel yükler için depolama sistemlerinin kullanılması durumunda evlere ait olan yenilenebilir enerji kaynaklarından daha etkin bir şekilde faydalanılabileceği ve talep cevabı uygulamalarında elde edilebilecek faydaların artırılacağı açıkça ortaya konmuştur. Nan vd. [21] her bir evin bir PV ünitesine ve bataryaya sahip olduğu varsayılan bir bölgede tüketici maliyetlerini ve şebekedeki pik yük talebini azaltmak amacıyla evsel yüklerin kullanımı için bir planlama stratejisi önermişlerdir. Evlerdeki PV

ünitelerden en ekonomik olarak faydalanılabilmesi amacıyla evsel yüklerin kontrol edilmesine dayanan bir yaklaşım, farklı PV ünitesi ve batarya kapasiteleri için [11]'de incelenmiştir. Sivaneasan vd. [22] PV panellerinin güç üretimindeki süreksizliği azaltabilmek amacıyla binalardaki klima yüklerini ve bataryaları kullanan bir enerji yönetimi yaklaşımı sunmuşlardır. Evlere ait PV panellerin üretimleri ile evlerdeki güç tüketimlerini adapte edebilmek amacıyla talep cevabı uygulamalarının ve bir enerji depolama sisteminin kullanımına dayanan bir yöntem [23]'te verilmiştir. Talep cevabı programlarının, PV ünitelerinin ve depolama sistemlerinin birlikte kullanımı ile ilgili daha geniş çaplı bilgiye ve daha fazla sayıda çalışmaya [24]'te ulaşılabilir.

Evlerdeki mevcut alanların bataryaların konumlandırılması açısından yetersiz olması, bataryaların gürültü ve ısı problemlerine sahip olması ve bireysel batarya kullanımında ilk yatırım, bakım ve değişim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle son yıllarda literatürdeki çalışmalarda evsel yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte bir batarya kullanmak yerine çok sayıda ev için tek bir yüksek güçlü batarya kullanılmak fikri ortaya atılmıştır. Özellikle maliyet açısından son kullanıcılara sağladıkları faydalara ek olarak, bahsedilen paylaşımlı bataryaların bir diğer önemli özelliği ise sahip oldukları yüksek enerji kapasitesi sayesinde gerektiğinde şebekedeki pik yük talebini azaltmak için kullanılabilirlerdir. Bu amaçla, PV ünitelere sahip olan evsel kullanıcıların bulunduğu bir bölgede paylaşımlı bataryaların optimum konumlandırılması, boyutlandırılması ve işletimi [25]'te incelenmiştir. Wang vd. [26] PV ünitelerinin üretim değerlerinin şebeke içerisindeki payını artırmak amacıyla evsel talep cevabı uygulamalarından ve paylaşımlı bataryalardan faydalanmışlardır. Aynı sistem yapısı için enerji maliyeti ve tüketici memnuniyeti arasındaki ilişki [27]'de araştırılmıştır. Ayrıca, paylaşımlı bataryaların talep cevabı programları ile birlikte kullanılması durumunda sistem işletmecilerinin ve tüketicilerin en yüksek oranda kar etmesini sağlamak amacıyla [8,9]'da teşvik tabanlı bir yöntem önerilmiştir.

Bahsedilen gerilim ve frekans ile ilgili problemlerin çözümü için yaygın olarak kullanılan üçüncü yöntem ise yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilecek olan enerjinin ve tüketicilere ait beklenen yük taleplerinin belirli bir süre için tahmin edilmeye çalışılmasıdır [28-30]. Yüksek güçlü yenilenebilir enerji santralleri ve belirli bir alandaki çok sayıda tüketiciye ait toplam güç için bahsedilen tahmin yöntemleri uzun yıllardır etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda bilgi ve haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte evsel kaynaklardan ve tüketicilerden farklı zaman ölçeklerinde ve uzun süreli olarak veri toplamanın mümkün hale gelmesiyle birlikte evsel ölçekte üretim ve tüketim değerlerinin tahmini için de yöntemler geliştirilmeye ve kullanılmaya başlamıştır [6,31].

Bu çalışmada, dağıtım şebekelerindeki üretim ve tüketim değerleri arasındaki dengesizliklerini azaltabilmek amacıyla yukarıda bahsedilen üç farklı yöntemden de faydalanabilecek bir yaklaşım önerilmektedir. Bu amaçla, öncelikle aynı bölge içerisinde yer alan ve aynı trafodan beslenen belirli bir sayıdaki ev göz önüne alınmıştır. Evlerin tamamı dağıtım sistemi işletmecisi ile yaptıkları anlaşmalar gereği günün belirli saatlerinde bir talep cevabı etkinliğine katılmaktadırlar. Ayrıca önerilen yöntemin etkinliğini gösterebilmek amacıyla tüm evlerin PV panellere sahip olduğu ve çift yönlü elektrik sayaçları sayesinde dağıtım şebekesi ile enerji alışverişi yapabildikleri varsayılmıştır. Evlerin üretim fazlası enerjilerini depolamak için daha önceden belirtilen avantajları nedeniyle bir paylaşımlı batarya ünitesinin sistem içerisinde mevcut olduğu ve her bir evin sisteme (diğer evlere veya paylaşımlı bataryaya) sağladığı enerji karşılığında, sonradan kullanabileceği bir enerji kredisi kazandığı düşünülmüştür. Son olarak, önerilen enerji yönetimi yaklaşımı, kullanıcılar açısından enerji tüketimi maliyetlerini azaltmak ve sistem işletmecisi açısından pik yük talebi periyotlarında şebekeye aktif güç sağlayarak destek olmak amacıyla her bir son kullanıcı için PV üretimi ve güç tüketimi tahminlerini karar verme aşamalarında dikkate almaktadır.

Literatürde paylaşımlı depolama sistemlerinin işletiminde yenilenebilir enerji ve yük talebi tahminlerini birlikte kullanmayı öneren çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Huang ve Sun [32], PV paneller, bataryalar ve farklı ticari tüketiciler içeren bir sistemin işletimde yük tahminlerine ait belirsizlikleri dikkate almışlardır. Ancak önerilen çalışmada, bir talep cevabı yöntemi kullanılmamıştır ve istatistiksel dağılımlara dayanan tahmin yöntemi ile bu tahminlerin nasıl elde edildiğine ait bilgilere yer verilmemiştir. Üreticilere ve tüketicilere ekonomik faydalar sağlamak amacıyla paylaşımlı depolama sistemi ve son kullanıcılardan oluşan bir sistemdeki enerji ticareti [33]'te incelenmiştir. Çalışmada enerji üretimi ve tüketimi tahminleri göz önüne alınmıştır, ancak bir tahmin yönteminden elde edilmeyen ve doğru oldukları kabul edilen bir değerlerin kullanılması ile varsayımlara bağlı sonuçlar elde edilmiştir. Belirtilen varsayımların incelendiği bir başka çalışmada [34], yük talebi tahminlerinin tamamen doğru olduğu ve hatalar içerdiği iki durumun karşılaştırılması sonucunda, tahmin değerlerinde mevcut olan hataların, paylaşımlı bataryaların sağlayabileceği faydalar üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Bahsedilen çalışmada, bu yayında önerilen yaklaşımdan farklı olarak bir talep cevabı uygulaması ve evlerin dağıtık enerji üretimi sistemlerine sahip olmaları durumları göz önüne alınmamıştır.

Önerilen yöntemin aynı alandaki literatüre katkıları aşağıda maddeler halinde verilmektedir:

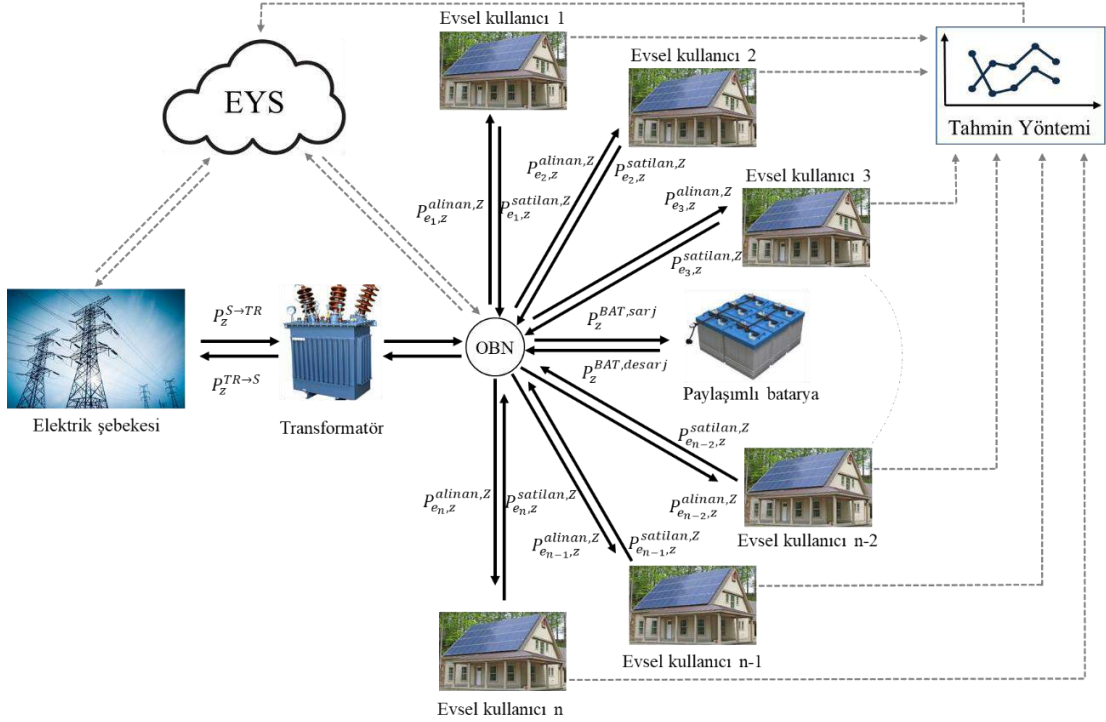
- Bu çalışmada literatürde az sayıda yayında incelenen paylaşımlı elektrik enerjisi depolama sistemlerinin son kullanıcılara ve dağıtım sistemi işletmecisine sağladığı faydalar araştırılmıştır.
- Ayrıca dağıtım sistemi işletmecisine şebekedeki enerji yönetiminde daha fazla esneklik sağlamak amacıyla paylaşımlı batarya ile birlikte bir teşvik tabanlı talep cevabı programı dikkate alınmıştır.
- PV ünitelere sahip belli bir sayıda evsel tüketicinin bulunduğu ve gerçek zamanlı enerji fiyat tarifesinin uygulandığı bir bölge için etkinliği test edilen yaklaşım içerisinde son kullanıcılara, elektriğin birim fiyatının yüksek olduğu zamanlarda kullanmak üzere, sisteme verdikleri enerji miktarı kadar enerji kredisi verilerek önerilen yaklaşımdaki karlılığın artırılması hedeflenmiştir.
- Yük talebi ve PV güç üretimine ait gelecekteki değerlerinin mevcut olduğunun varsayıldığı literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak önerilen yöntemde gerçek uygulamalarda kullanabilmek amacıyla bir günlük tüketim ve üretim değerleri tüm tüketiciler için bir tahmin yöntemi ile elde edilmiştir.
- Belirtilen tahmin değerlerini yüksek bir doğrulukta elde edebilmek için literatürde özellikle son birkaç yılda ön plana çıkan ve bu çalışmadaki duruma benzer şekilde farklı noktalardan farklı zamanlarda alınan verilerin mevcut olması durumunda bu veriler arasında bir ilişki kurmakta oldukça başarılı olduğu gözlemlenen uzamsal-zamansal tahmin yöntemleri kullanılmıştır.

- Son olarak, paylaşımlı batarya kullanımına dayanan ve evsel yenilenebilir enerji üretimi ile birlikte gerçek zamanlı elektrik tarifelerini dikkate alan talep cevabı yaklaşımı için en yüksek faydayı sağlayabilecek başlangıç ve bitiş saatlerinin belirlenmesinde literatürde ilk defa talep ve yenilenebilir enerji üretimi tahminlerinden faydalanılmıştır.

Bu çalışmada göz önüne alınan sisteme ve önerilen yönteme ait ayrıntılı bilgiler Bölüm 3'te verilmektedir. Yöntemin etkinliği ise gerçek verilerin kullanıldığı bir durum üzerinde Bölüm 4'te test edilmiştir. Son olarak, elde edilen en önemli sonuçlar ve önerilen yöntemin geliştirilebilmeye açık yönleri Bölüm 5'te verilmiştir.

3. Önerilen Sistem Yapısı

Bu çalışmada önerilen sistemin genel yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Aynı bölge içerisinde bulunan ve her biri farklı güçlerde PV panellere olan sahip belirli bir sayıda evin ortak bir **transformatör** üzerinden beslendiği bu sistemde evlere ait üretim ve tüketim değerleri tahminlerine göre kullanılan bir paylaşımlı enerji depolama sistemi bulunmaktadır. Şekil 1'den görülebileceği üzere evler, paylaşımlı depolama ünitesi ve transformatör, ortak bağlantısı noktası (OBN) adı verilen aynı noktaya bağlıdır. Sistemde evler ihtiyaç duydukları enerji miktarını öncelikle kendi PV üretimlerinden, bu üretimin yetersiz olması durumunda ise diğer evlerin ihtiyaç fazlası üretiminden, paylaşımlı depolama ünitesinden veya şebekeden karşılamaktadırlar. Benzer şekilde, evler ihtiyaçlarından fazla ürettikleri enerjilerini akıllı sayaçları üzerinden diğer evlere ve şebekeye satabilmekte veya paylaşımlı depolama ünitesinde depolayabilmektedirler. Ayrıca, şebeke ile paylaşımlı depolama ünitesi arasında da iki yönlü bir enerji akışı mümkün olmaktadır. Son olarak, önerilen sistemde paylaşımlı depolama sisteminin etkinliğinin artırılabilmesi amacıyla evlerinin tamamının saatlik elektrik fiyat tarifesine tabi oldukları varsayılmıştır.



Şekil 1. Evsel kullanıcılardan ve bir paylaşımlı depolama ünitesinden oluşan sistem yapısı.

Bahsedilen sistem yapısından en etkin şekilde faydalanabilmek amacıyla sisteme ait bileşenler ve önerilen enerji yönetimi yaklaşımı bir optimizasyon problemi olarak tanımlanmıştır. Önerilen probleme ait amaç fonksiyonu ve kısıtlar eşitlikler (1)-(30) ile verilmektedir [9].

Minimize et

$$TTEM = \sum_e \sum_z (\lambda_z^{alınan} \cdot (P_{e,z}^{alınan,T} - P_{e,z}^{alınan,BAT}) \cdot \Delta Z - \lambda_z^{satılan} \cdot (P_{e,z}^{satılan,T} - P_{e,z}^{satılan,BAT}) \cdot \Delta Z), \forall e \quad (1)$$

Öyle ki,

$$P_{e,z}^{alınan,T} = P_{e,z}^{alınan,Y} + P_{e,z}^{alınan,S} + P_{e,z}^{alınan,BAT}, \forall e, z \quad (2)$$

$$P_{e,z}^{satılan,T} = P_{e,z}^{satılan,Y} + P_{e,z}^{satılan,S} + P_{e,z}^{satılan,BAT}, \forall e, z \quad (3)$$

$$\sum_e P_{e,z}^{alınan,Y} = \sum_e P_{e,z}^{satılan,Y}, \forall z \quad (4)$$

$$\sum_e P_{e,z}^{alınan,S} = P_z^{TR \rightarrow K}, \forall z \quad (5)$$

$$\sum_e P_{e,z}^{satılan,S} = P_z^{K \rightarrow TR}, \forall z \quad (6)$$

$$P_z^{S \rightarrow TR} = P_z^{TR \rightarrow K} + P_z^{TR \rightarrow BAT}, \forall z \quad (7)$$

$$P_z^{TR \rightarrow S} = P_z^{K \rightarrow TR} + P_z^{BAT \rightarrow TR}, \forall z \quad (8)$$

$$P_z^{S \rightarrow TR} \leq S \cdot u_z^1, \forall z \quad (9)$$

$$P_z^{TR \rightarrow S} \leq S \cdot (1 - u_z^1), \forall z \quad (10)$$

$$0 \leq P_z^{BAT,sarj} \leq L^{BAT,sarj} \cdot u_z^2, \forall z \quad (11)$$

$$0 \leq P_z^{BAT,desarj} \leq L^{BAT,desarj} \cdot (1 - u_z^2), \forall z \quad (12)$$

$$SOE_z^{BAT} = SOE_{z-1}^{BAT} + SV^{BAT} \cdot P_z^{BAT,sarj} \cdot \Delta Z - \frac{P_z^{BAT,desarj}}{DV^{BAT}} \cdot \Delta Z, \text{ if } z > 1 \quad (13)$$

$$SOE_z^{BAT,min} \leq SOE_z^{BAT} \leq SOE_z^{BAT,maks}, \forall z \quad (14)$$

$$SOE_z^{BAT} = SOE_z^{BAT,ilk}, \forall e, \text{ eğer } z = 1 \quad (15)$$

$$P_z^{BAT,sarj} = P_z^{K \rightarrow BAT} + P_z^{TR \rightarrow BAT}, \forall z \quad (16)$$

$$P_z^{BAT,desarj} = P_z^{BAT \rightarrow K} + P_z^{BAT \rightarrow TR}, \forall z \quad (17)$$

$$P_z^{BAT \rightarrow K} = \sum_e P_{e,z}^{alınan,BAT}, \forall z \quad (18)$$

$$P_z^{K \rightarrow BAT} = \sum_e P_{e,z}^{satılan,BAT}, \forall z \quad (19)$$

$$P_{e,z}^{alınan,T} + P_{e,z}^{PV,kullanılan} = Y_{e,z}, \forall e, z \quad (20)$$

$$P_{e,z}^{alınan,T} \leq S \cdot u_{e,z}^3, \forall e, z \quad (21)$$

$$P_{e,z}^{satılan,T} \leq S \cdot (1 - u_{e,z}^3), \forall e, z \quad (22)$$

$$P_{e,z}^{PV,kullanılan} + P_{e,z}^{satılan,T} = P_{e,z}^{PV,uretim}, \forall e, z \quad (23)$$

$$E_{e,z}^{kredi} = E_{e,z-1}^{kredi} + P_{e,z}^{satılan,BAT} \cdot \Delta Z - P_{e,z}^{alınan,BAT} \cdot \Delta Z, \forall E, \text{ eğer } z > 1 \quad (24)$$

$$E_{e,z}^{kredi} = E_e^{kredi,ilk}, \forall e, \text{ eğer } z = 1 \quad (25)$$

$$P_{e,z}^{satılan,BAT} = 0, \forall e, z \in [Z^{DR,baslangic}, Z^{DR,bitis}] \quad (26)$$

$$P_{e,z}^{alınan,BAT} = 0, \forall e, z \notin [Z^{DR,baslangic}, Z^{DR,bitis}] \quad (27)$$

$$E_e^{kredi} = \frac{SOE_z^{BAT,maks} - SOE_z^{BAT,ini}}{E}, \forall e \quad (28)$$

$$E_{e,z}^{kredi} \leq E_e^{kredi}, \forall e, z \quad (29)$$

$$SOE_z^{BAT} \geq \sum_e E_e^{kredi} + SOE_z^{BAT,min}, \text{ eğer } z = Z^{DR,baslangic} \quad (30)$$

Tanımlanan optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu eşitlik (1)'de gösterildiği gibi tüketicilerin toplam enerji maliyetlerini (TTEM) en aza indirmek olarak belirlenmiştir. Her bir eve (e) ait belirli bir zamanda (z) satın alınan güç miktarı eşitlik (2)'de gösterildiği gibi, diğer evlerin PV üretimden gelen güç ($P_{e,z}^{alınan,Y}$), şebekeden gelen güç ($P_{e,z}^{alınan,S}$) ve paylaşımlı bataryadan gelen güç ($P_{e,z}^{alınan,BAT}$) olmak üzere üç bileşene ayrılmıştır. Her bir evin belirli bir anda sattığı güç miktarı da benzer şekilde, diğer evlere verilen güç ($P_{e,z}^{satılan,Y}$), şebekeye verilen güç ($P_{e,z}^{satılan,G}$) ve paylaşımlı bataryaya verilen güç ($P_{e,z}^{satılan,BAT}$) olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır.

Eşitlik (4) PV paneller tarafından üretilen gücün her bir z zamanında evler tarafından kullanılan PV gücüne eşit olması gerektiğini göstermektedir. Şebekeden evlere gelen güç (5) ile ifade edilirken evler tarafından şebekeye aktarılan güç ise (6) ile tanımlanmaktadır. Kısıt (7) şebekeden gelen gücün, evlere ve paylaşımlı depolama sistemine gelen toplam güce eşit olduğunu; kısıt (8) ise şebekeye giden gücün evlerden ve depolama ünitesinden giden toplam güce eşit olduğunu göstermektedir. Eşitlikler (9) ve (10) ise aynı anda hem evlerden şebekeye hem de şebekeden evlere enerji akışının önüne geçmek için kullanılmaktadır.

Paylaşımlı depolama sistemine ait eşitlikler ise (11)-(19) arasında tanımlanmıştır. Sisteme ait şarj ve deşarj güçleri (11) ve (12) ile sınırlandırılırken bu eşitliklerde ikili değişken (u_t^2) ile şarj ve deşarjın aynı anda gerçekleşmesinin önüne geçilmektedir. Depolama ünitesinin zamanla değişen enerji durumu (state-of-energy - SOE) (13) ile verilmektedir ve bataryanın derin deşarjı ve aşırı şarjı (14) ile önlenmektedir. Eşitlik (15) bataryanın ilk durumdaki şarjını ifade etmektedir. Eşitlikler (16) ve (17) sırasıyla bataryanın evlerden gelen ve şebekeden gelen güç ile şarj olabileceğini ve deşarj durumunda ise gücün evlere ve şebekeye aktarılacağını göstermektedir. Son olarak, (18) ve (19) şebekeye giden ve şebekeden gelen bataryaya ait güç miktarlarını ifade etmektedir.

Evlere ait güç değişimleri (20)-(23) ile verilmektedir. Kısıt (20) her bir ev için güç dengesini, (21) ve (22) ise evler ve şebeke arasındaki her bir anda sadece tek bir yönde olabilecek güç değişimlerini göstermektedir. Eşitlik (23) evlerin, kendilerine ait PV üniteler ile ürettikleri güçleri kullandıklarını, ihtiyaç fazlası gücü ise sattıklarını ifade etmektedir.

Evlere ait toplam enerji maliyetini en aza indirmek ve şebekelerde pik yük talebini azaltmak amacıyla önerilen enerji yönetimi yaklaşımına ait eşitlikler ise (24)-(30) ile tanımlanmaktadır. Kısıt (24) her bir evin paylaşımlı depolama ünitesine sağladığı enerji kadar enerji kredisi kazandığını ve bu üniteden aldığı enerji miktarı oranında da kazandığı kredileri harcadığını göstermektedir. Her bir evin ilk anda sahip olduğu enerji kredisi (25) ile verilmektedir. Eşitlikler (26) ve (27) paylaşımlı depolama sisteminden en yüksek **oranda** fayda sağlayabilmek amacıyla depolama sisteminin bir talep cevabı uygulaması dışında kalan zamanlarda yalnızca şarj edildiğini, uygulama zamanı içerisinde ise yalnızca deşarj edildiğini göstermektedir. Önerilen amaç fonksiyonu dikkate alındığında bataryanın çoğunlukla enerjinin birim fiyatının en az olduğu zamanlarda şarj olacağı ve enerji fiyatının en yüksek olduğu zamanlarda ise deşarj olacağı öngörülebilir. Eşitlikler (28) ve (29) ise her bir eve ait önceden belirlenmiş eşit miktarda bir enerji kredisi olduğunu ve kazanılabilecek kredilerin her bir zaman diliminde bu değer ile sınırlandırıldığını ifade etmektedir. Son olarak kısıt (30), talep cevabı uygulaması esnasında tüm evlere kazandıkları enerji kredisi kadar enerji sağlayabilmek amacıyla uygulamanın ilk anında paylaşımlı depolama sisteminde olması gereken en az güç miktarını vermektedir.

Önerilen yaklaşımda her bir evin kendisi için ayrılan kredi miktarına ulaşması durumunda ihtiyaç fazlası enerjisini şebekeye satabileceği varsayılmıştır. Benzer şekilde evler, kredilerinin tamamını kullandıktan sonra şebekedeki mevcut fiyattan enerji alımına devam edeceklerdir. Farklı fiyatlardaki enerji alışverişlerinin tüketicilerin enerji maliyetini en aza indireceği ve ayrıca enerjinin pahalı olduğu pik yük talebi zamanlarında evler genellikle kredilerini kullanacağı için pik yük talebini azaltacağı öngörülmektedir.

Dağıtım şebekelerinde enerji arzı ve talebi arasındaki dengenin sürekli olarak korunması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına dayanan talep cevabı yöntemlerini ve paylaşımlı depolama ünitelerini aynı sistem içerisinde dikkate alan çalışmalarda kayda değer sonuçlar elde edilirken, bu çalışmaların tamamında evlere ait üretim ve tüketim değerlerinin önceden mevcut olması gibi önemli bir varsayım yapılmıştır. Bu varsayımın göre genellikle bir sonraki güne ait üretim ve tüketim verilerinin önerilen yöntemlere giriş olarak uygulanması ile aynı gün için bir optimum enerji yönetimi planlaması yapılmaktadır. Ancak gerçek uygulamalarda böyle bir veri mevcut olmayacağı için istenen değerlerin elde edilebilmesi amacıyla genellikle izlenen iki yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşım, literatürdeki farklı alanlarda da kullanılan, mevcut verinin günlere ve haftalara göre sınıflandırılması ve istenen gün için üretim ve tüketim değerlerinin, benzeri şartları sağlayan bir başka gün ile aynı olacağını varsayılmıştır. Başka bir ifadeyle, bu yaklaşımda, enerji planlaması yapılması istenen güne ait üretim ve tüketim değerlerinin bir önceki gün ile veya bir önceki haftadaki aynı gün ile tamamen aynı olacağı kabul edilmektedir. Bazı çalışmalarda ise belirli bir güne ait verilerin elde edilmesinde benzer özellikleri taşıyan ve ölçümleri mevcut olan günlerin tamamı farklı ağırlıklandırma katsayıları ile birlikte kullanılmaktadır. Bahsedilen yaklaşım tamamen varsayımlara dayandığı için genellikle gerçek değerlerden oldukça uzak değerler sağlamaktadır. Bu nedenle belirtilen yaklaşımın kullanıldığı yayınlarda, çalışmaların temel amacının enerji yönetimi olduğu ve sınıflandırma sonucu elde edilen verilerin doğrulanması gibi bir konunun çalışmanın kapsamı dışında kaldığı belirtilmektedir. İkinci yaklaşımda ise literatürdeki yöntemlerden faydalanılarak belirli süreler için evlere ait enerji üretimi ve tüketimi tahminleri yapılmakta ve enerji planlamasında bu değerler göz önüne alınmaktadır. Bu sayede özellikle gerçek uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılacak daha yüksek doğruluğa sahip üretim ve tüketim değerleri elde edilebilmektedir. Bahsedilen nedenlerden dolayı, önerilen çalışmada, evsel talep cevabı ile birlikte paylaşımlı depolama ünitesinin kullanıldığı bir sistemin uygulanabilirliğini ve etkinliğini artırmak amacıyla literatürde ilk defa tahmin yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Bu çalışmada evsel üretim ve tüketim değerleri tahminleri için bir uzam-zamansal tahmin yöntemi kullanılmıştır. Tahmin yöntemleri arasında yüksek doğrulukta tahminler sağlama potansiyeli nedeniyle özellikle son yıllarda ön plana çıkan uzam-zamansal yöntemler, temel olarak farklı noktalardan ve farklı zamanlarda alınan ölçümlerin belirli bir noktadaki kısa süreli tahminler için kullanılması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemlerde temel amaç, farklı noktalardaki değişkenlere ait ölçüm değerlerinin dikkate alınmasıyla tahmin doğruluğunu artırmaktır. Bu çalışmada belirli bir sayıda eve ait üretim ve tüketim değerleri mevcut olduğundan uzam-zamansal bir tahmin yönteminin önerilen yöntemin etkinliğini artırmak açısından oldukça uygun olacağı düşünülmüştür.

Kullanılacak olan yöntem temel olarak bir otoregresif model (autoregressive - AR) tabanlı yöntem olacaktır. AR modeller, bir sistemin çıkış değişkeninin, sisteme ait geçmiş verilerin doğrusal bir kombinasyonu olarak elde edilebileceğini varsayımına dayanırlar. Bu yaklaşımın çok değişkenli sistemlere uygulanmasıyla, çok değişkenli AR modeli (Multivariate Autoregressive - M-AR) eşitlik (31)'deki gibi elde edilebilir:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}(z) &= X_1\mathbf{y}(z-1) + \dots + X_n\mathbf{y}(z-n) + e(z) \\ &= \sum_{j=1}^n X_j\mathbf{y}(z-j) + e(z) \end{aligned} \quad (31)$$

Burada $\mathbf{y}(z) \in \mathbb{R}^P$ t zamanında P boyutlu bir çıkışı, $X_j \in \mathbb{R}^{P \times P}$ j'ninci zaman gecikmesi ile ilgili katsayısı matrisini, n model derecesini ve $e(z)$ Gauss gürültüsünü temsil etmektedir. Daha genel bir ifadeyle, E hanede ($e = 1, 2, \dots, E$) ölçülen yük verisi için, y_z^e z örnek zamanında ($z = 1, 2, \dots, M+n$) e'ninci hanede ölçülen yük verisi ve y^{e*} hedef değişken olarak tanımlanabilir. Eşitlik (31)'de verilen M-AR modeli $N := nP$ ve $P := ExR$ olmak üzere (32)'de verilen formata dönüştürülebilir.

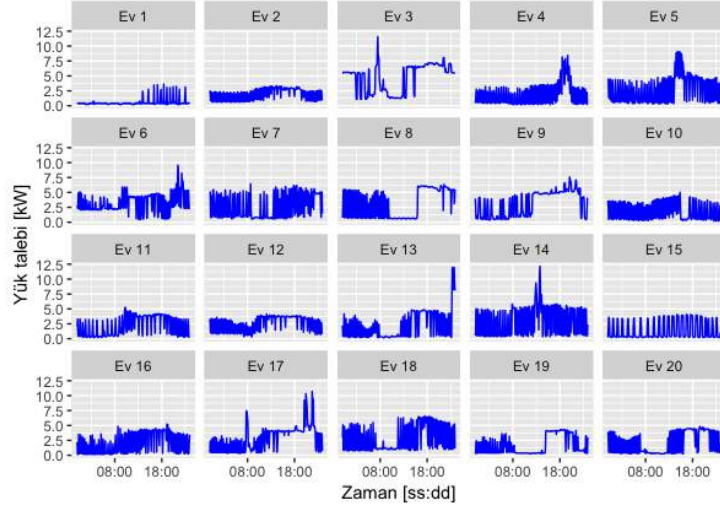
$$\underbrace{\begin{bmatrix} y_{n+1}^{d^*,e^*} \\ y_{n+2}^{d^*,e^*} \\ \vdots \\ y_{n+M}^{d^*,e^*} \end{bmatrix}}_{\mathbf{b} \in \mathbb{R}^M} = \underbrace{\begin{bmatrix} y_n^{1,1} & \dots & y_1^{1,1} \\ y_{n+1}^{1,1} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n+M-1}^{1,1} & \dots & y_M^{1,1} \end{bmatrix}}_{A \in \mathbb{R}^{M \times N}} \underbrace{\begin{bmatrix} y_n^{D,E} & \dots & y_1^{D,E} \\ y_{n+1}^{D,E} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n+M-1}^{D,E} & \dots & y_M^{D,E} \end{bmatrix}}_{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n} \quad (32)$$

Modele ait eğitim aşamasındaki temel amaç, bir \mathbf{x} katsayısı vektörünü belirleyerek $\mathbf{b} \in \mathbb{R}^M$ ve $A \in \mathbb{R}^{M \times N}$ gözlemlerini en iyi şekilde açıklamaya çalışmaktır. Eşitlik (32)'den görülebileceği üzere \mathbf{x} vektöründe her bir değişkene ait katsayı bir blok vektörde yer almaktadır. Tüm n derece değerlerinin eşit olduğunun, başka bir ifadeyle, tüm evlerden alınan değişkenlerin tahmin edilmeye çalışılan değişken üzerinde aynı etkiye sahip olduğunun varsayıldığı eşitlik (32)'nin M-AR modelinin farklı n derecelerine sahip değişkenler için düzenlenmiş hali [31]'de ayrıntılı bir şekilde verilmektedir. Önerilen tahmin yaklaşımında her bir tahmin ufku sonunda ölçülmüş olan verilerin modele ait giriş veri setine eklenmesi nedeniyle bir sonraki tahmin ufku için yeni bir \mathbf{x} vektörü elde edilmektedir. Son olarak, bahsedilen modellerde \mathbf{x} vektör katsayılarının elde edilebilmesi amacıyla bu çalışmada seyrek (sparse) \mathbf{x} vektörleri yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşıma ait ayrıntılı açıklamalar ve yaklaşımın tahmin doğruluğu üzerindeki olumlu etkileri [35]'te verilmektedir.

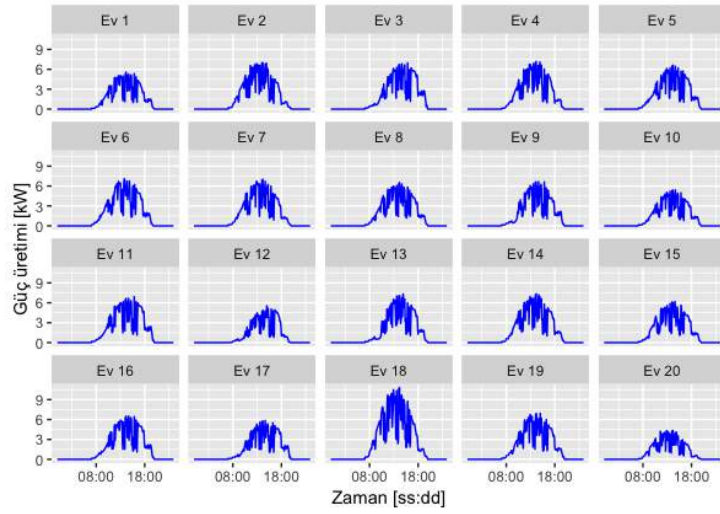
4. Benzetim Çalışmaları ve Sonuçlar

Önerilen enerji yönetimi yaklaşımının etkinliğini değerlendirebilmek amacıyla bu çalışmada Austin (ABD) şehrinde ölçülmüş olan gerçek yük talebi ve PV güç üretimi verilerinden faydalanılmıştır [36]. Çalışmada bu verilerin kullanılmasının sebebi; belirtilen bölgede çok sayıda evde akıllı sayaçlar bulunması nedeniyle kısa süreli zaman ölçeklerinde (beş dakika) tüketim değerlerinin mevcut olması, evlerin önemli bir kısmının PV panellere sahip olması, bu panellerin üretim değerlerinin tüketim değerleri ile aynı zamanlarda kaydedilmiş olması ve son olarak bölgedeki üretim ve tüketim değerlerinin oldukça değişken olmasıdır. Benzetim çalışmaları için evlerde bulunan PV panellere ait üretimin eksiksiz olarak kaydedildiği günler içerisinde güneş ışınımı değerlerinin yüksek olduğu ve bu değerlerin anlık olarak önemli oranlarda değişkenlikler gösterdiği bir gün seçilmiştir. Sonrasında ise istenen özelliklerde verilere sahip çok sayıda ev arasından 20 ev rastgele bir şekilde seçilmiştir. Ev sayısının 20 ile sınırlandırılmasının sebebi, bu evler için kullanılacak olan paylaşımlı depolama sisteminin boyutlarının ve maliyetinin ev sayısının daha fazla artması durumunda teknik ve ekonomik olarak uygun olmaktan çıkmasıdır.

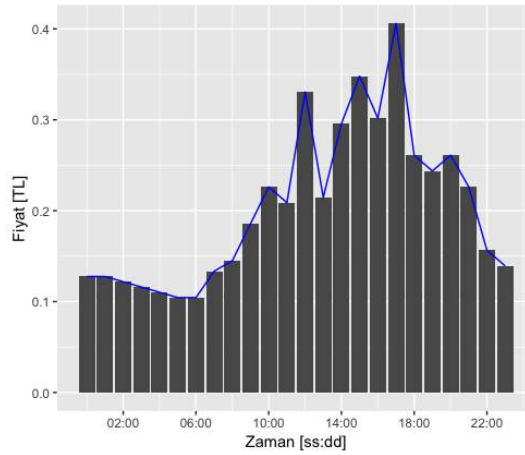
Seçilen evlere ait belirli bir gün boyunca beş dakikalık ölçümlerle alınmış olan tüketim değerleri her bir ev için Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2'den görülebileceği üzere evlere ait enerji tüketimi gün içerisinde düşük seviyelerde iken akşam saatlerinde bu değerler genellikle artmaktadır. Evlerdeki PV güç üretimlerine ait beş dakikalık değerler ise Şekil 3'te verilmektedir. Her bir ev için oldukça değişken değerlere sahip olan PV çıkış güçleri incelendiğinde başta bulut hareketleri olmak üzere çeşitli etkenlerin bu güçler üzerindeki olumsuz etkileri açık bir şekilde görülmektedir. Benzetim çalışmaları için oldukça değişken üretim değerlerinin gözlemlendiği bir günün seçilmesinin nedeni, önerilen enerji yönetimi yaklaşımının ve kullanılan tahmin yönteminin etkinliğinin daha olumsuz şartlar altında incelenmesinin amaçlanmasıdır. Daha az değişken karakteristiğe sahip PV üretimlerinin mevcut olması durumunda enerji yönetimi ve tahmini algoritmalarının daha iyi sonuçlar vereceği belirtilebilir. Son olarak, Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen değerler incelendiğinde, şekillerdeki en yüksek değerlerin günün farklı saatlerinde gözlemlendiği, bu nedenle de seçilen bölgenin bir paylaşımlı batarya kullanımının faydalarının araştırılabilmesi için oldukça uygun olduğu ifade edilebilir. Benzetim çalışmalarında kullanılan bir diğer veri ise elektrik şebekesinden alınan bir günlük elektrik birim fiyatı bilgisidir [37]. Şekil 4'te gösterildiği gibi bu çalışmada bir gerçek zamanlı elektrik fiyatı tarifi dikkate alınarak elektrik birim fiyatındaki saatlik değişikliklerin de paylaşımlı depolama sistemlerinin etkinliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Şekil 2. Seçilen gün için evlere ait beş dakikalık yük talebi değerleri.



Şekil 3. Seçilen gün için evlere ait beş dakikalık güç üretimi değerleri.



Şekil 4. Seçilen gün için elektrik fiyatının değişimi [37].

Önerilen tahmin tabanlı enerji yönetimi yaklaşımının etkinliğinin değerlendirilebilmesi amacıyla bu çalışmada üç farklı durum göz önüne alınmıştır.

- Durum-1: Paylaşımlı enerji depolama sisteminin mevcut olmadığı durum.
- Durum-2: Paylaşımlı enerji depolama sisteminin mevcut olduğu durum.
- Durum-3: Paylaşımlı enerji depolama sisteminin mevcut olduğu, talep cevabı etkinliği periyodunun yük talebi ve PV çıkış gücü tahminleri göz önüne alınarak belirlendiği durum.

Benzetim çalışmalarında göz önüne alınan ilk durumda aynı transformatör üzerinden beslenen ve PV panellere sahip olan evlerden oluşan bir dağıtım sistemi göz önüne alınmıştır. Bu sistemin işletiminde her bir evin öncelikle kendi PV ünitesinden elde ettiği enerjiyi kullandığı, üretim değerlerinin yetersiz olması durumunda ise eksik miktar oranında şebekeden enerji satın aldıkları varsayılmıştır.

İkinci durumda ise ilk durumda göz önüne alınan sisteme, özellikleri Çizelge 1’de verilen bir paylaşımlı enerji depolama ünitesi ilave edilmiştir. Bu sistemin işletimde de öncelikle her bir evin enerji talebini karşılamak amacıyla kendi üretimini kullandığı varsayılmıştır. Enerji üretiminin talepten daha fazla olduğu zamanlarda ihtiyaç fazlası enerji bataryada depolanabilirken; üretiminin talepten düşük olduğu zamanlarda evler, diğer evlere ait PV ünitelerden, paylaşımlı bataryadan ve son olarak dağıtım şebekesinden ihtiyaç duydukları enerjiyi çekmektedirler. Son durumda ise ilk iki durumda önceden belirlenmiş bir parametre olduğu varsayılan talep cevabı başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesinde yük talebi ve PV çıkış gücü tahminlerinden faydalanılmıştır.

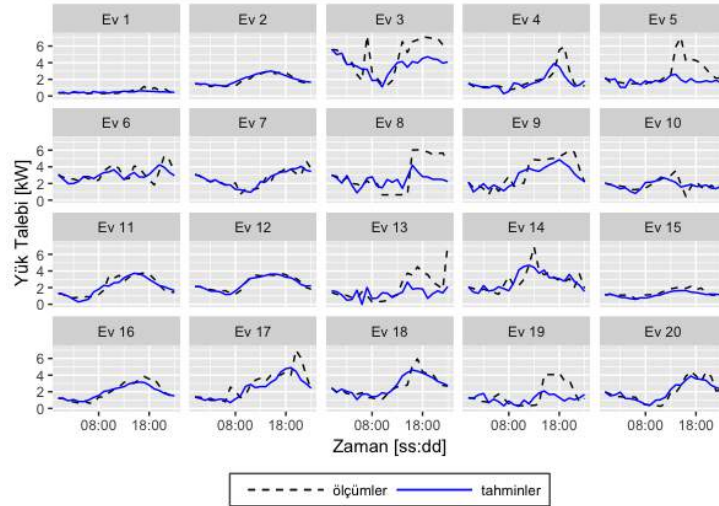
Çizelge 1. Paylaşımlı Enerji Depolama Ünitesine Ait Parametreler

Parametre	Ünite	Birim	Parametre	Ünite	Birim
SV^{BAT}	0,95	-	$SOE^{BAT,ilk}$	75	kWh
DV^{BAT}	0,95	-	$SOE^{BAT,min}$	30	kWh
$L^{BAT,sarj}$	30	kW	$SOE^{BAT,maks}$	150	kWh
$L^{BAT,desarj}$	30	kW			

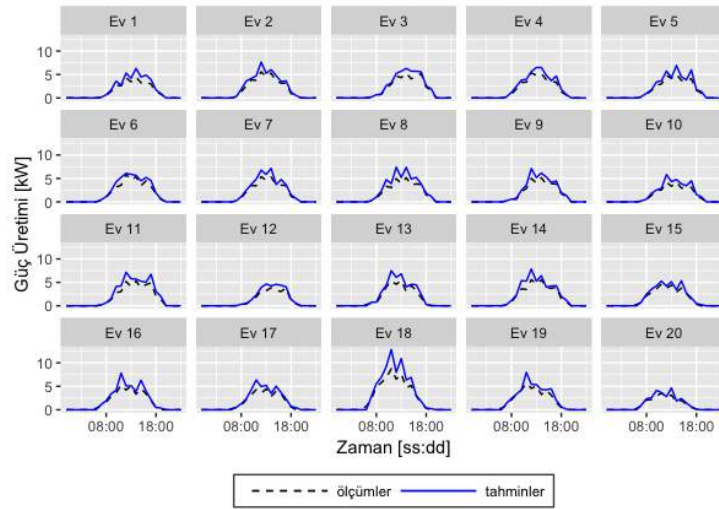
Üç durumda da yük taleplerinin ve PV çıkış güçlerinin bir uzam-zamansal tahmin yönteminden elde edildiği daha önce belirtilmiştir. Evlere ait bir günlük en ekonomik enerji yönetiminin sağlanabilmesi amacıyla yük talepleri ve PV çıkış güçleri için ilgili günün tamamına ait değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, mevcut olan beşer dakikalık verilerin kullanılması durumunda bir istatistiksel tahmin yöntemi ile bir günlük tahmin değerlerinin kabul edilebilir bir doğrulukta üretilebilmesi mümkün olmayacağı için ilgili veriler saatlik ortalama verilere dönüştürülmüştür ve iki değişken için elde edilen bir günlük tahmin değerleri Şekil 5 ve Şekil 6’da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Şekil 5’ten görülebileceği üzere oldukça değişken bir güç tüketimine sahip olan birkaç ev dışındaki tüm evler için gerçeğe yakın tahmin değerleri elde edilmiştir. PV güç üretimleri tahminlerinde ise Şekil 6’dan görülebileceği üzere tahmin doğruluğu daha yukarı seviyededir. Bu tahminlerde gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilmesinin iki nedeni bulunmaktadır. İlk neden, ışınım ve sıcaklık değerlerinin, değişken yük talebi değerlerinin aksine, gün boyunca çoğunlukla belli bir karakteristiğe sahip olmalarıdır. İkinci neden ise, kullanılan tahmin algoritmasının aynı bölgedeki tüm evlere ait güç değerlerini dikkate alması nedeniyle veri setindeki tahmin doğruluğuna olumlu yönde etki edebilecek veri miktarının yüksek olmasıdır.

Elde edilen tahmin değerlerinin doğruluklarını daha iyi anlayabilmek amacıyla literatürde en yaygın olarak kullanılan ortalama mutlak hata (MAE), ortalama küresel hata (RMSE) ve normalleştirilmiş ortalama küresel hata (NRMSE) hata ölçütlerinin minimum, ortalama ve maksimum değerleri her iki değişken için Çizelge 2’de verilmektedir.



Şekil 5. Seçilen gün için evlere ait saatlik yük talebi tahmini değerleri.



Şekil 6. Seçilen gün için evlere ait saatlik güç üretimi tahmini değerleri.

Çizelge 2. Tahmin Değerlerine Ait Hata Ölçütü Değerleri

	<i>MAE</i>			<i>RMSE</i>			<i>NRMSE</i>		
	<i>[kW]</i>			<i>[kW]</i>			<i>[%]</i>		
	<i>Min.</i>	<i>Ort.</i>	<i>Maks.</i>	<i>Min.</i>	<i>Ort.</i>	<i>Maks.</i>	<i>Min.</i>	<i>Ort.</i>	<i>Maks.</i>
Yük talebi	0,135	0,618	1,448	0,193	0,841	1,834	0,094	0,194	0,339
PV güç üretimi	0,208	0,377	0,766	0,421	0,677	1,350	0,100	0,130	0,173

Uzam-zamansal yöntem ile elde edilen yük talebi ve PV güç üretimi tahminlerinin, önerilen yaklaşıma ait olan eşitlikler (1)-(30) içerisinde giriş verisi olarak kullanılmasıyla birinci ve ikinci durumda gerçekleşen güç alışverişleri sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmektedir. Şekil 7’den görülebileceği üzere evler öncelikle kendi PV panelleri ile ürettikleri enerjiyi kullanmaktadırlar. Üretilen enerjisinin yetersiz olması durumunda ise diğer evlere ait ihtiyaç fazlası üretim kullanılmaktadır. Evlere ait üretimin olmadığı akşam saatlerinde ve toplam üretimin yetersiz kaldığı saatlerde ise gerekli enerji şebekeden çekilmektedir. Bir paylaşımlı enerji depolama sisteminin kullanıldığı Durum-2’deki güç alışverişlerini gösteren Şekil 8’den anlaşılabilirceği üzere bu durumda evler ihtiyaç fazlası enerjilerini satmak yerine depolayabilmekte ve böylece enerjinin birim fiyatının yüksek olduğu zamanlarda depolanmış olan enerjiyi kullanarak maddi bir fayda elde edebilmektedirler. Durum-1 ve Durum-2 için evler ile şebeke arasında gerçekleşen toplam enerji alışverişinin yer aldığı Şekil 9, bahsedilen enerjinin depolanması ve talep cevabı süresince kullanılmasını daha açık bir şekilde göstermektedir.

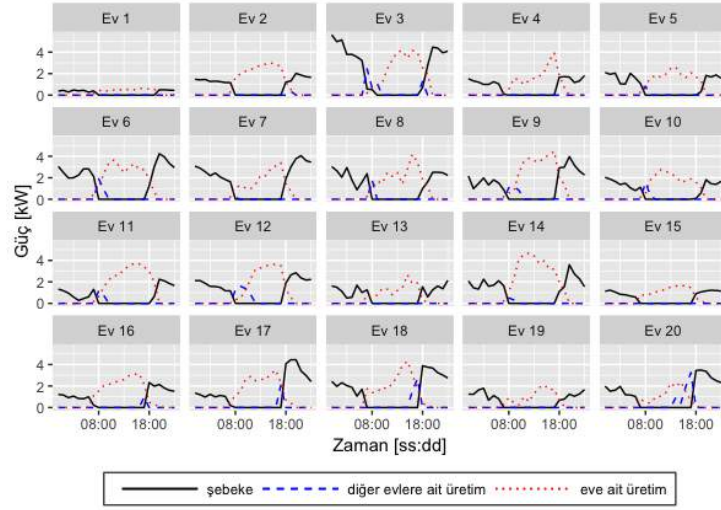
Şekiller 7-9’da görülen toplam maliyetteki azalma miktarları Çizelge 3’te verilmektedir. Görülebileceği üzere bir paylaşımlı depolama sisteminin ve enerji alışverişleri için bir enerji kredisi kazanma yönteminin kullanılması sonucunda evler fazla enerjilerini çoğunlukla depoladıklarından evlerin şebeke ile ve kendi aralarında yaptıkları enerji alışverişlerinin miktarı azalmıştır. Depolanan enerjinin pik yük zamanlarında kullanılması sonucunda ise toplam maliyet Durum-2’de önemli oranda düşürülebilmektedir.

Paylaşımlı depolama sisteminin faydalarını daha ayrıntılı bir şekilde inceleyebilmek amacıyla dikkate alınan bir günlük süre boyunca sistemin evler ve şebeke ile enerji alışverişleri Şekil 10’da gösterilmektedir. Şekil 10’dan görülebileceği üzere talep cevabı etkinliği öncesinde paylaşımlı batarya evlerden gelen ihtiyaç fazlası enerji ile şarj olmaktadır ve etkinliğin başladığı andan itibaren evler kendilerine ait olan enerji kredilerini kullanarak bu süre boyunca yüksek fiyatlı enerji alımlarını azaltmaktadırlar. Paylaşımlı batarya aynı zamanda sistem işletmecisine işletimsel ve ekonomik faydalar sağlamak amacıyla gerekmesi durumunda şebeke ile de enerji alışverişi yapmaktadır. Ayrıca, yine Şekil 10’dan görülebileceği üzere önerilen optimizasyon algoritması, evlerin talep cevabı etkinliği süresince kullanabileceği toplam enerji kredisi miktarını garanti edebilmek amacıyla etkinlik öncesinde enerji fiyatının düşük olduğu zamanlarda şebekeden enerji çekerek bataryanın şarj olmasını sağlayabilmektedir.

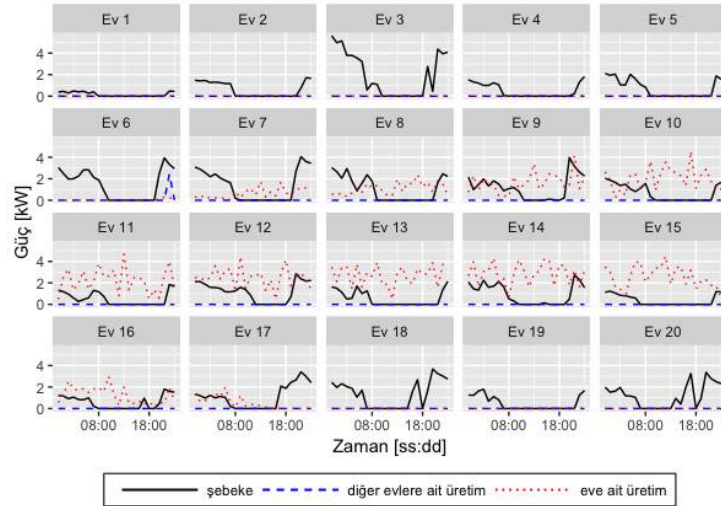
Son olarak, paylaşımlı bataryanın şebeke ve evler ile yaptığı enerji alışverişleri sonucunda bataryanın enerji durumunda meydana gelen değişimler ve evlerin kazandıkları/harcadıkları toplam enerji kredisi miktarları Şekil 11’de gösterilmektedir. Şekil 11’den görülebileceği üzere talep cevabı etkinliği öncesinde evlerin paylaşımlı bataryaya sağladığı enerji ile birlikte bataryanın SOE değeri artmakta ve evler enerji kredileri kazanmaktadırlar. Talep cevabı etkinliğinin başlaması ile birlikte ise evlerin kendilerine ait olan enerji kredileri; güç ihtiyaçları, kazanılmış kredi miktarları ve enerjinin saatlik fiyatı dikkate alınarak harcanmaktadır ve enerji deşarjı nedeniyle SOE değeri etkinlik süresi içerisinde minimum değerine inmektedir.

İlk iki durum için gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında talep cevabı etkinliği için elektrik birim fiyatının en yüksek olduğu 18.00-22.00 saatleri arası seçilmiştir. Belirtilen saatler arasında paylaşımlı depolama sisteminin farklı evler tarafından hangi saatler arasında ne oranda kullanılacağı ise önerilen enerji kredisi tabanlı optimizasyon algoritması tarafından belirlenmektedir. Ancak belirtilen saat aralığının değiştirilmesi ile farklı sonuçların elde edilebileceği açıktır. Literatürdeki çalışmalarda genellikle elektriğin birim fiyatına göre seçilmiş olan dört saatlik bir zaman aralığı benzetim çalışmasının gerçekleştirildiği süre boyunca sabit tutulmaktadır. Bazı çalışmalarda ise farklı mevsimler ve/veya haftanın farklı günleri için ayrı ayrı saat aralıkları belirlenerek elde edilebilecek faydaların

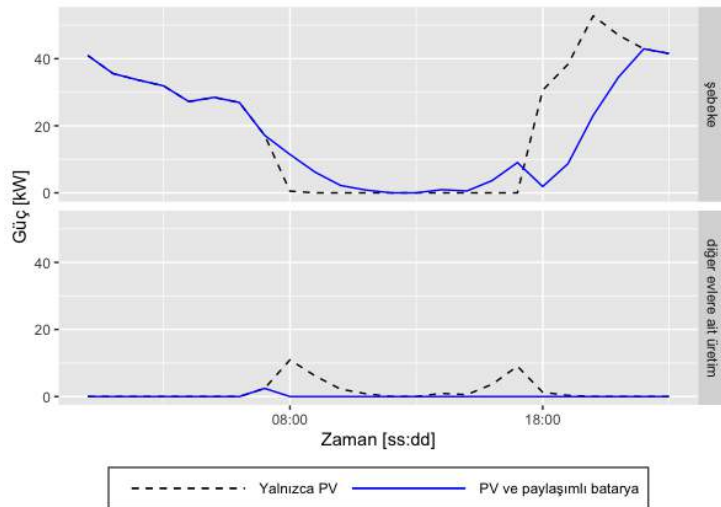
arttırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmalarda göz önüne alınan zaman aralıkları çoğunlukla varsayımlara ve eldeki veriden edinilen geçmiş tecrübelerle dayanmaktadır. Ancak, herhangi bir gün için PV üretim değerlerinde ve/veya tüketim değerlerinde yaşanabilecek olan beklenmedik değişimlerin etkileri dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada ise önerilen tahmin yönteminin, gerçek uygulamalar için veri sağlamanın yanı sıra talep cevabı etkinliğinin başlangıç ve bitiş saatlerini belirlemede de kullanılabileceği öngörülmektedir.



Şekil 7. Seçilen gün için Durum 1'de gerçekleşen güç değişimleri.



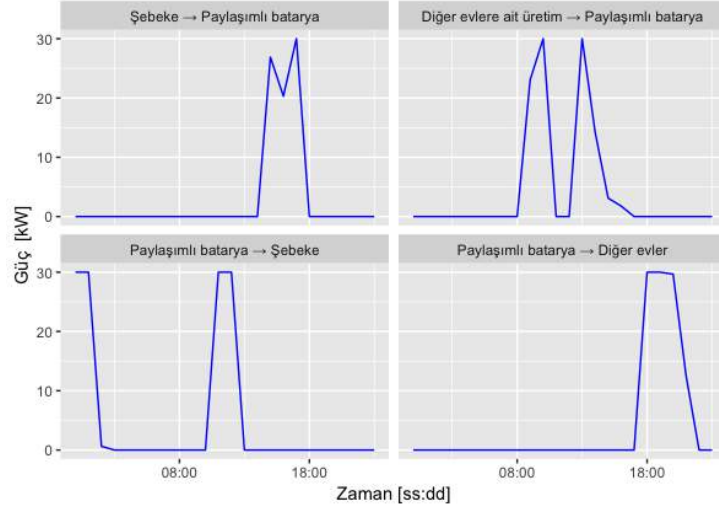
Şekil 8. Seçilen gün için Durum 2'de gerçekleşen güç değişimleri.



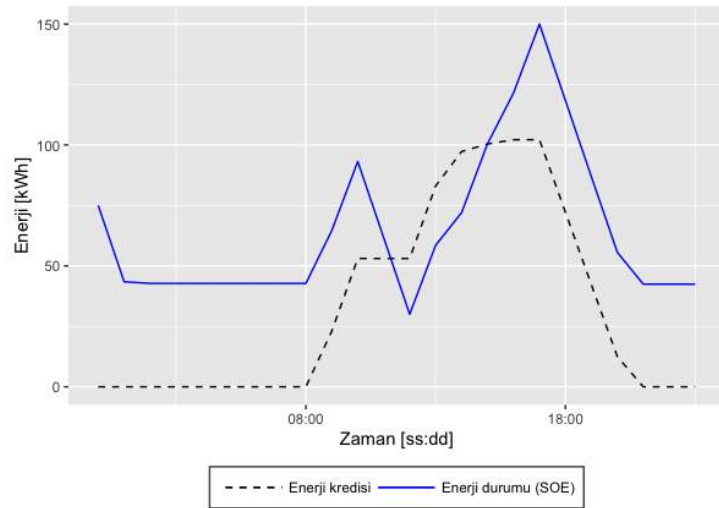
Şekil 9. Seçilen gün için Durum-1 ve Durum-2'de evler ile şebeke arasında gerçekleşen güç alışverişleri.

Çizelge 3. Durum-1 ve Durum-2’de Evler ile Şebeke Arasında Gerçekleşen Toplam Enerji Alışverişleri

	Şebekeden alınan [kW]	Şebekeye satılan [kW]	Evler arasında kullanılan [kW]	Toplam maliyet [TL]
Yalnızca PV	495,55	375,69	38,40	19,01
PV ve batarya	429,33	309,47	2,44	14,25



Şekil 10. Seçilen gün için Durum-2’de gerçekleşen paylaşımlı bataryaya ait güç alışverişleri.



Şekil 11. Seçilen gün için Durum-2’de gerçekleşen batarya SOE ve enerji kredisi değişimleri.

Benzetim çalışmalarında yük taleplerine ve PV ünitelere ait tahminler saatlik olarak gerçekleştirilmiştir, ancak talep cevabı etkinliğinin gerçekleştirileceği zaman aralığını belirlemede daha yüksek çözünürlüğe ve doğruluğa sahip tahminlerin daha kesin sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bu amaçla, öncelikle eldeki veri kullanılarak on beş dakikalık veriler elde edilmiştir. Daha sonra ise bu verilerin yardımıyla 18.00-24.00 saatleri arasındaki her bir on beş dakika için PV üretimi ve yük talebi tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bir günün tamamı yerine sadece bahsedilen aralık için tahminlerin gerçekleştirilmesinin sebebi, yukarıda bahsedildiği gibi 24 tahmin adımından daha fazlası için istatistiksel yöntemlerle yüksek doğrulukta tahminler yapılabilmesinin genellikle mümkün olmamasıdır. Tahminlerin başlangıç saati olarak 18.00’in seçilmesinin nedeni ise PV üretiminin bu saat sonrasında oldukça azalmaya başlaması ve yük talebinin ise tam tersine artmaya başlamasıdır.

Üçüncü durumda gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında, evlerin talep cevabı etkinliği içerisinde şebekeden çektiği toplam gücü minimize eden bir amaç fonksiyonu (Eşitlik (33)) kullanılmıştır. Yeni bir amaç fonksiyonu tanımlamasının sebebi, bu durumda temel hedefin tüketicilere ait toplam maliyeti azaltmak yerine pik talep gücünü azaltmak olarak seçilmesidir. Böylece paylaşımlı bataryaların bir diğer önemli faydası olan sistem işletmecilerine gerekli zamanlarda destek olabileme potansiyeli de incelenebilmiştir.

$$TTGA = \sum_e \sum_z (P_{e,z}^{alınan,S}), \forall e, z \in [Z^{DR_başlangic}, Z^{DR_bitis}] \quad (33)$$

Belirtilen zaman aralığı için yük taleplerine ve PV ünitelere ait tahminler gerçekleştirildikten sonra önerilen yöntem öncelikle saat 18.00’a kadar saatlik tahminler ile çalıştırılmıştır ve sonrasında ise kalan süre için on beşer dakikalık tahminler kullanılmıştır. Elde

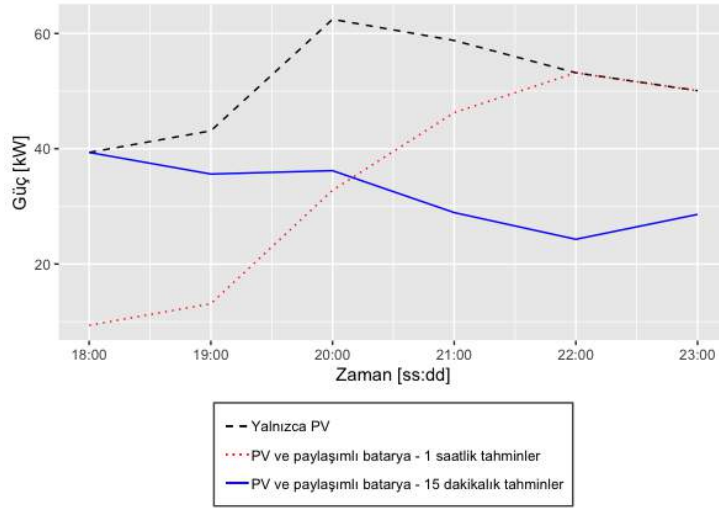
edilen on beş dakikalık tahminlerin doğruluğuna ait hata ölçütleri Çizelge 4’te verilmektedir. Daha sonra, tahmin değerlerinin dikkate alınmasıyla toplamda en yüksek güç değerlerine sahip olan aralık 19.45-23.45 olarak belirlenmiştir ve benzetim çalışmalarında talep cevabı etkinliğinin başlangıç ve çıkış saatleri bu saatler olarak seçilmiştir.

Şekil 12’de paylaşımlı bataryanın mevcut olmadığı, paylaşımlı bataryanın mevcut olduğu ve bir saatlik tahminler ile talep cevabı etkinliğinin 18.00-22.00 arasında gerçekleştirildiği ve son olarak paylaşımlı depolama ünitesinin mevcut olduğu ve talep cevabı etkinliğinin on beş dakikalık tahminler ile 19.45-23.45 arasında gerçekleştirildiği üç farklı yaklaşım göz önüne alınmıştır. Şekil 12’den görülebileceği üzere; on beş dakikalık tahminler yardımıyla talep cevabı etkinliğinin zaman aralığını belirlemek, sistem işletmecisine pik yük kontrolünde daha fazla ve daha uzun süreli bir destek sağlamaktadır. Saatlik tahminlerin kullanıldığı ve sabit talep cevabı etkinliği zamanının kullanıldığı durumda ise seçilen zaman aralığından dolayı saat 22.00 sonrasında yeni bir pik yük ortaya çıkmaktadır.

Son olarak, bu çalışmada kullanılan ve MATLAB ortamında modellenen tahmin yaklaşımının bir saatlik ve 24 adımlık tahminleri evlerin tamamı için 13 saniyede, 15 dakikalık ve 24 adımlık tahminleri ise 18 saniyede gerçekleştirdiği belirtilmelidir. Önerilen optimizasyon algoritmasının çözümü içinse General Algebraic Modelling System (GAMS) programı ve CPLEX çözücüsü kullanılmıştır ve sonuçlar ihmal edilebilecek kadar kısa bir sürede (yaklaşık 1 saniye) elde edilmiştir.

Çizelge 4. 15 Dakikalık Tahmin Değerlerine Ait Farklı Hata Ölçütü Değerleri

	MAE [kW]			RMSE [kW]			NRMSE [%]		
	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.
Yük talebi	0,193	0,852	1,549	0,246	1,119	2,494	0,142	0,271	0,441
PV güç üretimi	0,061	0,121	0,197	0,134	0,245	0,400	0,073	0,165	0,325



Şekil 12. Talep cevabı etkinliği süresince Durum-3’te evler ile şebeke arasında gerçekleşen güç alışverişleri.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, paylaşımlı bataryaların tüketicilere ve sistem işletmecilerine sağlayabilecekleri faydaları değerlendirebilmek amacıyla yük talebi ve PV güç üretimi tahminlerine dayanan bir enerji yönetimi algoritması geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliğini değerlendirebilmek amacıyla her biri PV ünitelere sahip olan ve aynı bölgede bulunan belirli bir sayıdaki evsel tüketici göz önüne alınmıştır. Önerilen yaklaşımın temel hedefi, bahsedilen tahminlerden faydalanarak, özellikle enerji fiyatının yüksek olduğu zamanlarda evsel tüketicilerin şebekeden çektiği enerji miktarını sınırlandıracak şekilde evlerin paylaşımlı batarya ile ve kendi aralarındaki enerji alışverişlerini en ekonomik şekilde sağlamaktır. Bu amaçla, ilgili enerji alışverişleri sonucunda tüketicilerin enerji kredileri kazandıkları ve bu kredileri bir talep cevabı etkinliği süresi içerisinde harcadıkları varsayılmıştır. Gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında 20 adet evden oluşan bir ağ için paylaşımlı depolama ünitesinin kullanılmasının toplam maliyeti %25,04 azalttığı gözlemlenmiştir. Son olarak, talep cevabı etkinliklerinde başlangıç ve bitiş saatlerinin en yüksek oranda fayda sağlayacak şekilde belirlenebilmesi amacıyla farklı zaman adımlarında tahminlerin önerilen enerji yönetimi algoritmasına dahil edilmesiyle, paylaşımlı bataryalardan elde edilebilecek faydalarının artırılabilmesi sağlanmıştır. Bu durumda ise paylaşımlı depolama ünitesinin, şebekedeki evlerden kaynaklanan pik yük talebini, depolama ünitesinin var olmadığı duruma göre %37,13 ve depolama ünitesinin var olduğu ancak talep cevabı etkinliğinin süresinin kısa süreli tahminler ile belirlenmediği duruma göre %5,76 azalttığı görülmüştür. Daha önemlisi, gün içerisinde görülen en yüksek güç talebi değeri, depolama ünitesinin var olmadığı duruma göre %36,98, talep cevabı etkinliğinin süresinin belirlenmediği duruma göre %25,98 azalmıştır.

Bu çalışmada belirtilen sonuçlar, sınırlı sayıda evsel yük ve yalnızca bir adet paylaşımlı depolama ünitesi kullanılarak elde edilmiştir. Birden fazla sayıda paylaşımlı depolama ünitesi içeren daha geniş bir dağıtım ağının dikkate alınabileceği farklı çalışmalarda, artacak tüketici sayısı ve çeşitliliği (endüstriyel, ticari, vb.) ile birlikte sağlanabilecek faydaların kayda değer derecede artacağı ifade edilebilir. Bu çalışmalarda ayrıca batarya tabanlı paylaşımlı depolama üniteleri yerine kullanılacak daha yüksek kapasitelere sahip enerji depolama teknolojilerinin teknik ve ekonomik faydaları da incelenebilir. Ayrıca, paylaşımlı depolama ünitelerinin sanal güç

santralleri (virtual power plants) yapısı içerisinde kullanılması durumunda elde edilebilecek ekonomik faydalar da ayrı bir çalışmanın konusu olarak ele alınabilir.

6. Teşekkür

Bu çalışma 117E527 No'lu proje kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir.

Referanslar

- [1] Imani, M. H., Ghadi, M. J., Ghavidel, S., & Li, L. (2018). Demand response modeling in microgrid operation: a review and application for incentive-based and time-based programs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 486-499.
- [2] Erdinc, O., Taşçıkaraoğlu, A., Paterakis, N. G., & Catalão, J. P. (2018). Novel incentive mechanism for end-users enrolled in DLC-based demand response programs within stochastic planning context. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(2), 1476-1487.
- [3] Morstyn, T., Hredzak, B., & Agelidis, V. G. (2016). Control strategies for microgrids with distributed energy storage systems: An overview. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(4), 3652-3666.
- [4] Erdinç, O., Taşçıkaraoğlu, A., Paterakis, N. G., Dursun, I., Sinim, M. C., & Catalão, J. P. (2017). Comprehensive optimization model for sizing and siting of DG units, EV charging stations, and energy storage systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(4), 3871-3882.
- [5] Nghitevelekwa, K., & Bansal, R. C. (2018). A review of generation dispatch with large-scale photovoltaic systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, 81, 615-624.
- [6] Paterakis, N. G., Taşçıkaraoğlu, A., Erdinc, O., Bakirtzis, A. G., & Catalão, J. P. (2016). Assessment of demand-response-driven load pattern elasticity using a combined approach for smart households. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 12(4), 1529-1539.
- [7] Siano, P., & Sarno, D. (2016). Assessing the benefits of residential demand response in a real time distribution energy market. *Applied Energy*, 161, 533-551.
- [8] Taşçıkaraoğlu, A., Paterakis, N.G., Erdinç, O. and Catalao, J.P., 2019. Combining the flexibility from shared energy storage systems and DLC-based demand response of HVAC units for distribution system operation enhancement. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 10(1), pp.137-148.
- [9] Taşçıkaraoğlu, A. (2018). Economic and operational benefits of energy storage sharing for a neighborhood of prosumers in a dynamic pricing environment. *Sustainable cities and society*, 38, 219-229.
- [10] Muratori, M., & Rizzoni, G. (2015). Residential demand response: Dynamic energy management and time-varying electricity pricing. *IEEE Transactions on Power systems*, 31(2), 1108-1117.
- [11] Nan, S., Zhou, M., & Li, G. (2018). Optimal residential community demand response scheduling in smart grid. *Applied Energy*, 210, 1280-1289.
- [12] Hu, Q., Li, F., Fang, X., & Bai, L. (2016). A framework of residential demand aggregation with financial incentives. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(1), 497-505.
- [13] Asadinejad, A., Rahimpour, A., Tomsovic, K., Qi, H., & Chen, C. F. (2018). Evaluation of residential customer elasticity for incentive based demand response programs. *Electric Power Systems Research*, 158, 26-36.
- [14] Haider, H. T., See, O. H., & Elmenreich, W. (2016). A review of residential demand response of smart grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 166-178.
- [15] Yan, X., Ozturk, Y., Hu, Z., & Song, Y. (2018). A review on price-driven residential demand response. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 411-419.
- [16] Lu, Q., Yu, H., Zhao, K., Leng, Y., Hou, J., & Xie, P. (2019). Residential demand response considering distributed PV consumption: A model based on China's PV policy. *Energy*, 172, 443-456.
- [17] Venizelou, V., Philippou, N., Hadjipanayi, M., Makrides, G., Efthymiou, V., & Georghiou, G. E. (2018). Development of a novel time-of-use tariff algorithm for residential prosumer price-based demand side management. *Energy*, 142, 633-646.
- [18] Iria, J., Soares, F., & Matos, M. (2018). Optimal supply and demand bidding strategy for an aggregator of small prosumers. *Applied Energy*, 213, 658-669.
- [19] Li, R., Wang, W., Wu, X., Tang, F., & Chen, Z. (2019). Cooperative planning model of renewable energy sources and energy storage units in active distribution systems: A bi-level model and Pareto analysis. *Energy*, 168, 30-42.
- [20] Shakeri, M., Shayestegan, M., Reza, S. S., Yahya, I., Bais, B., Akhtaruzzaman, M., ... & Amin, N. (2018). Implementation of a novel home energy management system (HEMS) architecture with solar photovoltaic system as supplementary source. *Renewable energy*, 125, 108-120.

- [21] Wang, G., Zhang, Q., Li, H., McLellan, B. C., Chen, S., Li, Y., & Tian, Y. (2017). Study on the promotion impact of demand response on distributed PV penetration by using non-cooperative game theoretical analysis. *Applied energy*, 185, 1869-1878.
- [22] Sivaneasan, B., Kandasamy, N. K., Lim, M. L., & Goh, K. P. (2018). A new demand response algorithm for solar PV intermittency management. *Applied energy*, 218, 36-45.
- [23] Bashir, A., Pourakbari Kasmaei, M., Safdarian, A., & Lehtonen, M. (2018). Matching of local load with on-site PV production in a grid-connected residential building. *Energies*, 11(9), 2409.
- [24] O'Shaughnessy, E., Cutler, D., Ardani, K., & Margolis, R. (2018). Solar plus: A review of the end-user economics of solar PV integration with storage and load control in residential buildings. *Applied energy*, 228, 2165-2175.
- [25] Sardi, J., Mithulananthan, N., & Hung, D. Q. (2017). Strategic allocation of community energy storage in a residential system with rooftop PV units. *Applied energy*, 206, 159-171.
- [26] Wang, Z., Gu, C., & Li, F. (2018). Flexible operation of shared energy storage at households to facilitate PV penetration. *Renewable energy*, 116, 438-446.
- [27] Gomez-Herrera, J. A., & Anjos, M. F. (2018). Optimal collaborative demand-response planner for smart residential buildings. *Energy*, 161, 370-380.
- [28] Notton, G., Nivet, M. L., Voyant, C., Paoli, C., Darras, C., Motte, F., & Fouilloy, A. (2018). Intermittent and stochastic character of renewable energy sources: Consequences, cost of intermittence and benefit of forecasting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87, 96-105.
- [29] Tascikaraoglu, A. (2018). Evaluation of spatio-temporal forecasting methods in various smart city applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 424-435.
- [30] Córdova, S., Rudnick, H., Lorca, A., & Martínez, V. (2018). An Efficient Forecasting-Optimization Scheme for the Intraday Unit Commitment Process Under Significant Wind and Solar Power. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 9(4), 1899-1909.
- [31] Tascikaraoglu, A., & Sanandaji, B. M. (2016). Short-term residential electric load forecasting: A compressive spatio-temporal approach. *Energy and Buildings*, 111, 380-392.
- [32] Huang, P., & Sun, Y. (2019). A robust control of nZEBs for performance optimization at cluster level under demand prediction uncertainty. *Renewable Energy*, 134, 215-227.
- [33] Mediwaththe, C. P., Shaw, M., Halgamuge, S. K., Smith, D., & Scott, P. M. (2019). An Incentive-compatible Energy Trading Framework for Neighborhood Area Networks with Shared Energy Storage. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*.
- [34] Liu, J., Zhang, N., Kang, C., Kirschen, D. S., & Xia, Q. (2018). Decision-Making models for the participants in cloud energy storage. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(6), 5512-5521.
- [35] Sanandaji, B. M., Tascikaraoglu, A., Poolla, K., & Varaiya, P. (2015, July). Low-dimensional models in spatio-temporal wind speed forecasting. In *2015 American Control Conference (ACC)* (pp. 4485-4490). IEEE.
- [36] Pecan Street, Inc. Pecan Street Dataport 2017. <<https://dataport.pecanstreet.org>>.
- [37] ComEd, <https://hourlypricing.comed.com/live-prices/predicted-prices/>.



Bir Ameliyathanenin İklimlendirilmesinde Üfleme Hızının Sayısal Analizi ve Modellenmesi

Yasin Polat¹, Hüseyin Yağlı², Yıldız Koç^{3*}

¹ Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1255-9990)

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9777-0698)

³ İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2219-645X)

(İlk Geliş Tarihi 3 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 16 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.573528)

ATIF/REFERENCE: Polat, Y. Yağlı, H. & Koç, Y. (2019). Bir Ameliyathanenin İklimlendirilmesinde Üfleme Hızının Sayısal Analizi ve Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 605-619.

Öz

Ameliyathane ortamlarına giren ve çıkan personel gibi kaçınılmaz mikroorganizma kaynaklarından gelen zararlıların dezenfektanlar ile verdiği zararların minimize edilmesi mümkün iken mikroorganizmaları zararlı seviyenin altında tutabilmek için ortamın uygun standartlarında havalandırmasının ve iklimlendirmesinin kritik öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, bir ameliyathanenin iklimlendirilmesi ve havalandırılması esnasında hava akışından kaynaklı mikroorganizmaların çoğalmasını engellemek için hava akışı ANSYS Fluent programı kullanılarak sayısal olarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında ameliyathane için tavandan üfleme ve duvardan emme menfezli Model-1 ve aseptizör cihazının kullanıldığı Model-2 bir arada ele alınmış ve hava akış yönü ve hava hız açısından elde edilen analiz sonuçları birbiri ile kıyaslanmıştır. Tasarlanan her iki iklimlendirme sistemi de ocak ve temmuz ayları için analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde, monitör, cerrahi alet masası, ilaç dolabı, anestezi makinası gibi cihazlar tavandan askılı olmadığı için her iki model de hava sirkülasyonunun engellendiği ve ölü akış bölgelerinin oluştuğu görülmüştür. Model-2'de bulunan aseptizör cihazı, standartlarda belirtildiği gibi laminer hava akımı oluşturamamakta ve enfeksiyon riski oluşumunu artırmaktadır. Bu nedenle, Model-2 ile kıyaslandığında, Model-1'de ki tavandan üfleme kenarlarından emme yapan iklimlendirme sisteminin ameliyathane iklimlendirmelerinde daha uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ameliyathane, İklimlendirme, Aseptizör, Modelleme, Fluent, Hava Hızı Analizi.

Numerical Analysis and Modeling of Air Flow Velocity in Air Conditioning of an Operating Room

Abstract

While it is possible to minimize the damage caused by inevitable sources such as the personnel entering and leaving to the operating environment, it is obvious that the ventilation and air conditioning of the operating room environment are critical in order to keep the microorganisms below the harmful level. For this reason, airflow velocity was analyzed numerically using the ANSYS Fluent program to prevent the proliferation of microorganisms coming from the air stream during the air conditioning and ventilation of an operating room. Within the scope of the study, the Model-1, which uses ceiling blowing and wall suction air conditioning system and Model-1, which uses aseptizer device was analysed and the results obtained from the air flow direction and air velocity were compared with each other. Both air conditioning systems were analyzed for January and July. When the results were evaluated together, devices such as monitor, surgical instrument table, medicine cabinet, anesthesia machine were not suspended from the ceiling. Because of that both models prevented air circulation and dead flow regions were formed. Aseptizing device used in Model-2, as specified in the standards does not create laminar air flow and increase the risk of infection. Therefore, the most convenient air conditioning system ceiling from was seen as Model-1.

Keywords: Operating Room, Air Conditioning, Aseptizer, Modelling, Fluent, Air Velocity Analysis.

* Sorumlu Yazar: İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, yildiz.koc@iste.edu.tr

1. Giriş

Ameliyathaneler, önemli cerrahi operasyonların yapıldığı yerler olduğundan, hasta sağlığını tehlikeye atmayacak temiz odalar olmalıdır. Ameliyathanelerin temiz odalar olabilmesi için ortamdaki hava içerisinde bulunan partiküllerin tanecik sayısı ve çapı küçük olmalıdır [1]. Partiküllerin sayısını azaltmak için havalandırma sistemleri standartlara uygun olmalı, belirlenen hijyen kurallarına uymalı ve en iyi konfor şartlarında iklimlendirme yapılmalıdır [2]. Ameliyathane ortamlarının havası saatte 20-30 kez değişmeli ve 0,5 mikronluk partiküllerin en az %90'ı filtrelenmelidir [3].

Ortamdaki partikül ve zararlı mikroorganizmaların minimize edilmesinin yanı sıra ameliyathane ortamlarının iklimlendirilmesi esnasında çalışan personelin ve hastanın konforunun ve sağlığı için gerekli iklimlendirme şartlarının en iyi şekilde sağlanması gereklidir [4]. İklimlendirmenin iyi bir şekilde yapılması için ortam havasının sıcaklığının istenilen şartlarda tutulmasının yanı sıra ortama üflenen iklimlendirme havasının akış yönünün ve akış hızının da personel ve hasta konforu göz önünde bulundurularak en iyi şekilde ayarlanması gereklidir [5]. Hava hızının fazla olması, ameliyathane hasta ve çalışanlar için konforsuz bir ortamın oluşmasına neden olmasının yanı sıra havalandırma sistemi üzerinde de aşırı bir ısı yükü oluşmasına neden olur [6]. Ortam havalandırması ve iklimlendirilmesi esnasında ihtiyaç duyulan ısı yüküne ek olarak sistemin aşırı çalışmasına paralel olarak ısınan sistemden kaynaklanan fazla ısı oluşumu ortam havasının ısısını ve nemini kayda değer oranlarda etkilemekte ve ortamdaki mikroorganizmaların artmasına neden olmaktadır [1]. Ameliyathane havasındaki mikroorganizmaların sayısının artmasına neden olan diğer etkenler ameliyathane giriş çıkış yapan personel sayısı, ortamdaki partiküllerin tam olarak temizlenememesi, ameliyathane dışarısındaki havanın ameliyathaneye girmesi olarak sıralanabilir [7].

Ameliyathane ortamlarındaki mikroorganizmaların artışına neden olan birçok etmenin yanı sıra ortam iklimlendirme ve havalandırma sistemindeki hava akış yönü ve hava akış hızı da mikroorganizmaların sayılarındaki istenmeyen bu artışın en önemli nedenlerinden birisidir. Süngü (2007), yapmış olduğu deneysel çalışmada aynı kirliliğe sahip 2 besli kabını laminar ve türbülanslı iki farklı ortama koymuştur. Türbülanslı akışta 200'e yakın mikroorganizma, laminar akışta ise sıfır mikroorganizma olduğunu gözlemlemiştir. Bu nedenle en azından ameliyathane masasının üst tarafında laminar akış sağlanmasının gerekli olduğunu görmüştür [8]. Bu nedenle ameliyathanelerde kullanılan havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde havanın laminar akış şartlarını sağlaması istenmektedir.

Ameliyathanelerde enfeksiyon riskini arttıran kaçınılmaz mikroorganizma kaynakları olsada (ameliyathane personeli gibi) bu enfeksiyon kaynaklarının çoğunun ortama getirdiği zararlıların dezenfektanların kullanımı ile zararsız seviyelere indirilebilmesi mümkündür. Fakat, ortam havalandırması gibi dezenfektanlarla verilen zararların minimize edilemeyeceği durumlarında varlığı şüphesizdir. Bu nedenle, havalandırma sistemlerinden gelen mikroorganizmaları zararlı seviyenin altında tutabilmek için ortamın uygun standartlarda havalandırması ve iklimlendirmesi kritik öneme sahiptir. Ameliyathanelerde havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin tasarımı üzerine her ne kadar birçok çalışma bulunsada bu çalışmaların çok az kısmının hava akışını ve hava akışının ameliyathanedeki dağılımını incelemektedir.

Bu çalışmada, bir ameliyathane iklimlendirilmesi ve havalandırılması esnasında hava akışından kaynaklı mikroorganizmaların çoğalmasını engellemek için hava akışı ANSYS Fluent programı kullanılarak sayısal olarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında ameliyathane için tavandan üfleme ve duvardan emme menfezli Model-1 ve aseptizör cihazının kullanıldığı Model-2 bir arada ele alınmış ve hava akış yönü ve hava hız açısından elde edilen analiz sonuçları birbiri ile kıyaslanmıştır. Tasarlanan her iki iklimlendirme sistemi de ocak ve Temmuz ayları için analiz edilmiştir.

2. Ameliyathanelerin İklimlendirilmesinin Önemi

Hava içerisindeki mikroorganizmaların solunum ve açık yaralarla direk temasa geçmesi hastalık bulaşma riskini en üst seviyelere çıkarmaktadır [9]. Ameliyathane gibi cerrahi operasyonların yapıldığı yerlerde bu durumla oldukça fazla karşılaşılmaktadır. Ameliyathanelerde enfeksiyon riskinin artmasında en önemli nedenlerden birisi ameliyathane personelleridir [10]. Personellerin ortam içerisindeki hareketleri, kıyafetleri, sağlık durumları enfeksiyon riskinin artmasında oldukça etkilidir. Bunun dışında hava akış yönü, ortamda bulunan havanın basıncı, cerrahi aletlerin temizliği ameliyathane enfeksiyon riskini arttıran diğer önemli nedenlerdendir [11].

Ameliyathanelerde enfeksiyon riskini en aza indirmek için iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin standartlara uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Kullanılan iklimlendirme sistemlerinde HEPA filtreler kesinlikle bulunmalıdır. İklimlendirme sisteminde üçüncü kademe bulunan HEPA filtreler, mikroorganizmaların temizlenmesinde %99,98'e kadar verimlilik gösterebilmektedirler [12,13]. İklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde birinci kademe elyaf filtreler kullanılırken ikinci kademe torba filtreleri kullanılmaktadır [11].

Ameliyathanelerin iklimlendirilmesinde kullanılan laminar akış cihazı birçok HEPA filtrenin bir araya getirilmesinden oluşan sistemlerdir. Bu sistemler, cerrahi alan üzerinde laminar hava akışı sağlayarak cerrahi alanda mikroorganizmaların çoğalmasını engellerken cerrahi alandan mikroorganizmaların ortalama 0,25 m/s hızla uzaklaştırılmasını sağlamaktadırlar [11,13]. Bu nedenle laminar akış cihazları ortamın daha hijyenik olmasını sağlamaktadırlar. Birçok ülkede ameliyathanelerde kullanılmakta olan laminar hava akışlı iklimlendirme sistemleri, diğer iklimlendirme sistemlerine kıyasla daha yüksek verime sahip olsa da pahalı ve sık sık bakıma ihtiyaç duyan sistemlerdir [14].

Ameliyathanelerde kullanılan bir diğer iklimlendirme sistemi olan paket tip hijyenik iklimlendirme sistemleri de ortamın basıncının istenildiği gibi ayarlanmasını sağlamakta ve ortamı yüksek kalitede hava ile beslemektedirler [15]. Ayrıca, ortamda bulunan havanın sıcaklığını, nemini, basıncını ayarlayarak istenilen havanın elde edilmesini mümkün kılmaktadırlar.

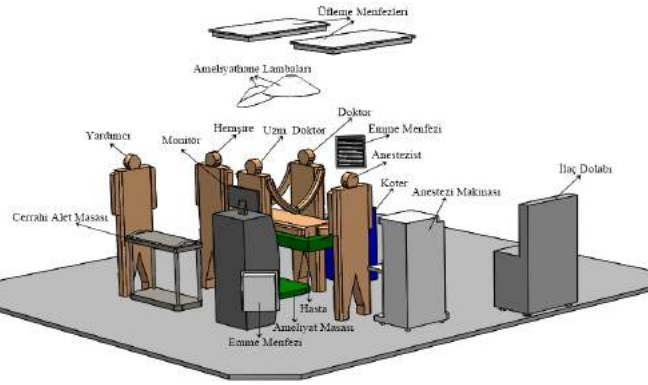
Her iki iklimlendirme sisteminin bakımı zamanında ve düzenli bir şekilde yapılması sonucunda 15-20 yıl boyunca kullanabilmektedirler. Dahası, her iki iklimlendirme sisteminde de filtrelerde yakalanmayan mikroorganizmaları etkisiz hale getiren ultraviyole sistem bulunmaktadır [11]

3. Tasarlanan İklimlendirme ve Havalandırma Sistemlerinin Tanıtımı

Çalışma kapsamında havalandırma ve iklimlendirmesi yapılacak olan ameliyathanenin ölçüleri 600x600x290 cm olarak kabul edilmiştir. Ameliyathane için tavandan üfleli ve duvardan emmeli iklimlendirme sistemi (Model-1) ve aseptizörlü iklimlendirme sistemi (Model-2) olmak üzere iki farklı iklimlendirme sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan her iki iklimlendirme sistemi de ocak ve temmuz ayları için analiz edilmiştir.

3.1. Tavandan Üfleli ve Duvardan Emişli İklimlendirme ve Havalandırma Sistemi (Model-1)

Model-1’de, 6 adet 57x59 cm ölçülerinde üfleme menfezi ile tavandan üfleme yapılmaktadır ve yan duvarlara 14x29 cm ölçülerinde emme menfezleri yerleştirilerek ortam havasının emdirilmesi sağlanmıştır. Ocak ve temmuz aylarının her ikisi içinde Model-1 üfleme hızı 0,4 m/s olarak kabul edilmiştir. Model-1’de kullanılan cihazların ve ameliyathanede bulunan insanların yerleşim planının şematik gösterimi Şekil 1’de verilmektedir.

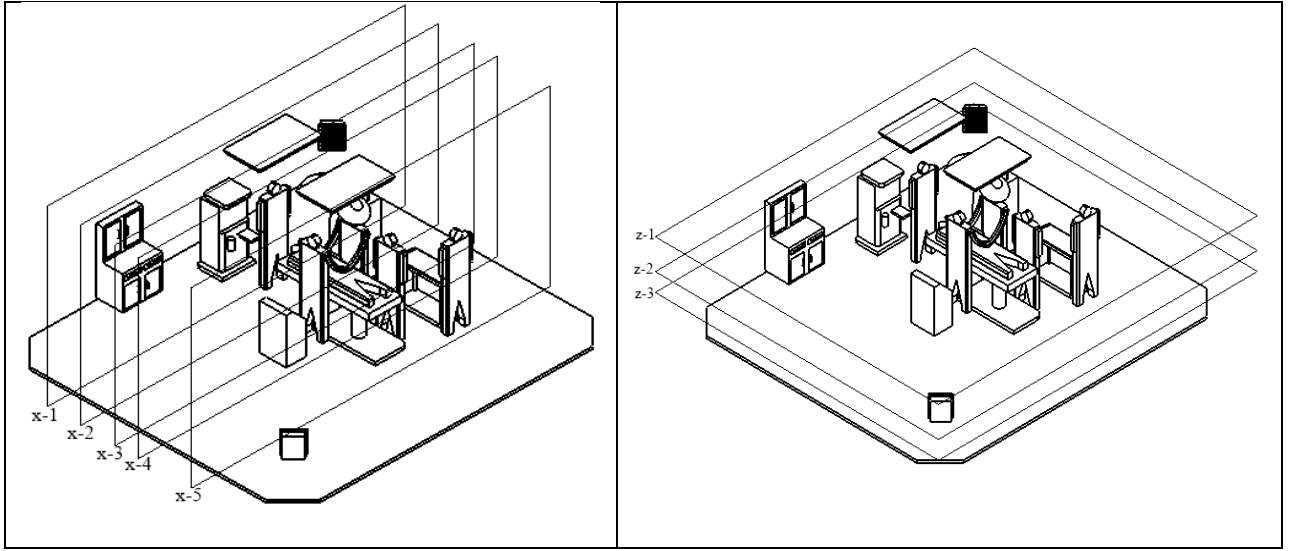


Şekil 1. Model-1’de kullanılan cihazların ve ameliyathanede bulunan insanların yerleşim planının şematik gösterimi

İklimlendirme ve havalandırma sisteminin tasarımında kullanılan cihazlar ve ameliyathanelerde genel olarak bulunan personel ve hasta sayıları göz önünde bulundurularak her birinin ölçüleri ve ısı yayım değerleri belirlenmiştir. Model-1’de kullanılan cihazların ve ameliyathanede bulunan insanların ölçüleri ile ısı yayım değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Model-1’de kullanılan cihazların ve ameliyathanede bulunan insanların ölçüleri ile ısı yayım değerleri

	Ölçüler (cm)	Yüzey Sıcaklığı (°C)
Ameliyat Masası	190x60x70	Yok
1. Cerrahi Işık	Yarı Küre (Çap=70 ve Yükseklik=25)	50
2. Cerrahi Işık	Yarı Küre (Çap=50 ve Yükseklik=20)	40
Cerrahi Kadro	20x66x175	37
Cerrahi Alan	20x25	37
Hasta	20x60x175	20
Anestezi Makinesi	60x65x145	70
Koter Cihazı	38x38x103	45
Monitör	10x40x35	40
Monitör Standı	45x50x130	40
Cerrahi Alet Masası	60x95x85	Yok
İlaç Dolabı	50x70x170	Yok
Üfleme menfezi	57x59	Yok
Emme menfezi	14x29	Yok

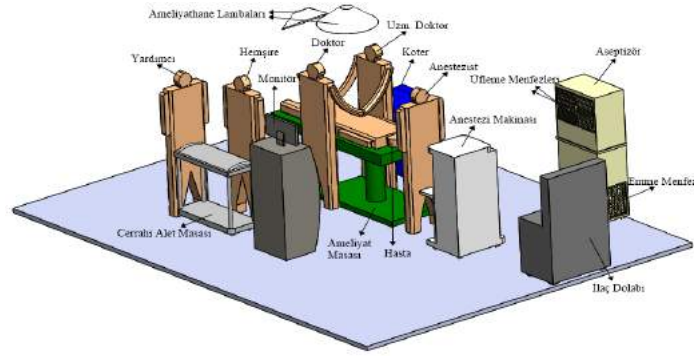


Şekil 2. Model-1 için x-düzleminde ve z-düzleminde alınan kesit görüntüleri

Cerrahi kadronun etrafında, cerrahi alan etrafında ve üfleme menfezleri çıkışlarında oluşan hava akışlarının detaylı bir şekilde incelenmesi için Model-1 için elde edilen analiz sonuçları x-düzleminde 5 farklı kesit için ayrı ayrı incelenmiştir. Cerrahi alanın en üst bölgesinde, personelin baş seviyesinde ve cerrahi alanın en alt bölgesinde oluşan hava akımını inceleyebilmek için elde edilen veriler z-düzleminde 3 farklı kesitte incelenmiştir. Model-1 için x-düzleminde ve z-düzleminde alınan kesitler Şekil 2’de sistemin şematik gösterimi üzerinde verilmektedir.

3.2. Aseptizörlü İklimlendirme ve Havalandırma Sistemi (Model-2)

Model-2’de iklimlendirme ve havalandırma için aseptizör cihazı kullanılmıştır. Aseptizör cihazında 2 adet 54x54 cm üfleme menfezi ile üfleme yapılmakta ve 2 adet 35x60 cm emme menfezi ile ortam havası emdirilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan aseptizörlü iklimlendirme sisteminde sıcaklık 16 °C ile 25 °C arasında ayarlanabilirken bağıl nem %30 ile %70 arasında ayarlanabilmektedir. Ocak ve temmuz aylarının her ikisi içinde Model-2’de üfleme hızı 1 m/s olarak kabul edilmiştir. Model-2’de kullanılan cihazların ve ameliyathane bulunan insanların yerleşim planının şematik gösterimi Şekil 3’de verilmektedir.

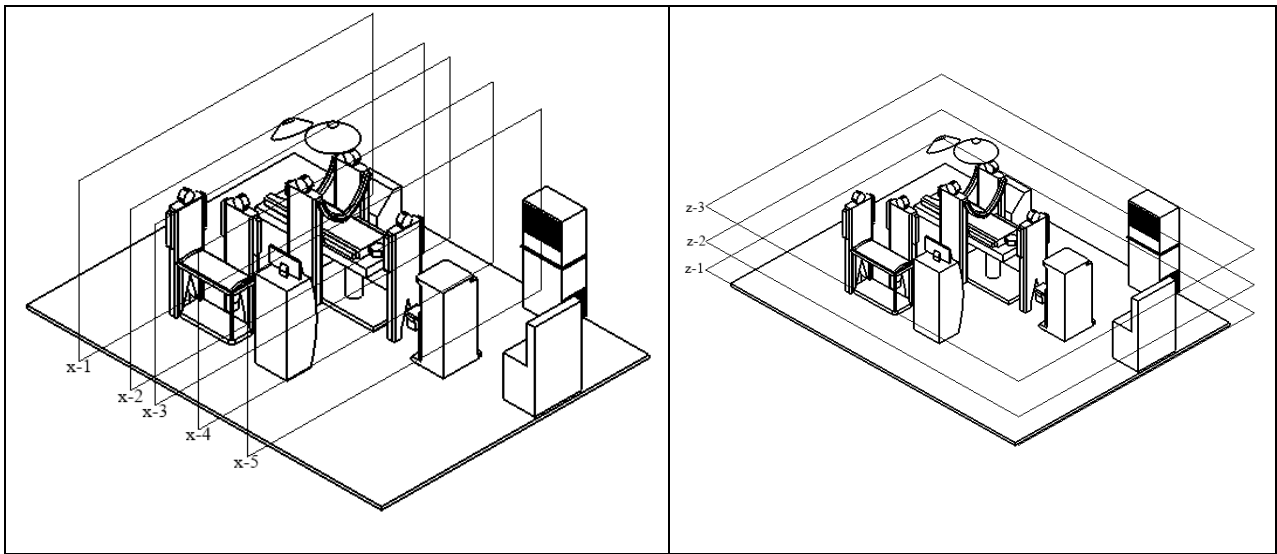


Şekil 3. Model-2’de kullanılan cihazların ve ameliyathane bulunan insanların yerleşim planının şematik gösterimi

İklimlendirme ve havalandırma sisteminin tasarımında kullanılan cihazlar ve ameliyathanelerde genel olarak bulunan personel ve hasta sayıları göz önünde bulundurularak her birinin ölçüleri ve ısı yayım değerleri belirlenmiştir. Model-2’de kullanılan cihazların ve ameliyathane bulunan insanların ölçüleri ile ısı yayım değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Model-2'de kullanılan cihazların ve ameliyathanede bulunan insanların ölçüleri ile ısı yayım değerleri

	Ölçüler (cm)	Yüzey Sıcaklığı (°C)
Ameliyat Masası	190x60x70	Yok
1. Cerrahi Işık	Yarı Küre (Çap=70 ve Yükseklik=25)	50
1. Cerrahi Işık	Yarı Küre (Çap=50 ve Yükseklik=20)	40
Cerrahi Kadro	20x66x175	37
Cerrahi Alan	20x25	37
Hasta	20x60x175	20
Anestezi Makinesi	60x65x145	70
Koter Cihazı	38x38x103	45
Monitör	10x40x35	40
Monitör Standı	45x50x130	40
Cerrahi Alet Masası	60x95x85	Yok
İlaç Dolabı	50x70x170	Yok
Aseptizör Cihazı	55x135x220	Yok

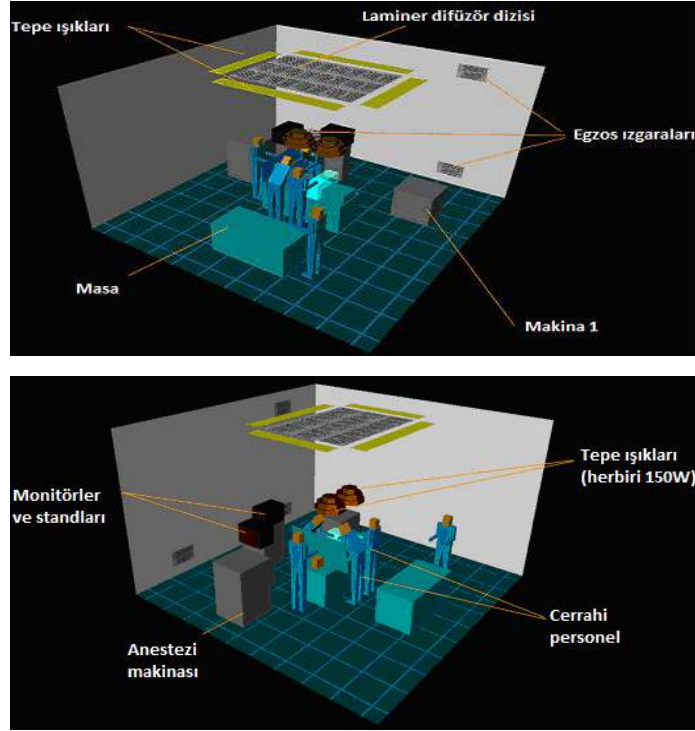


Şekil 4. Model-2 için x-düzleminde ve z-düzleminde alınan kesit görüntüleri

Cerrahi kadronun etrafında, cerrahi alan etrafında ve üfleme menfezleri çıkışlarında oluşan hava akışlarının detaylı bir şekilde incelenmesi için Model-2 için elde edilen analiz sonuçları x-düzleminde 5 farklı kesit için ayrı ayrı incelenmiştir. Cerrahi alanın en üst bölgesinde, personelin baş seviyesinde ve cerrahi alanın en alt bölgesinde oluşan hava akımını inceleyebilmek için elde edilen veriler z-düzleminde 3 farklı kesitte incelenmiştir. Model-2 için x-düzleminde ve z-düzleminde alınan kesitler Şekil 4'de sistemin şematik gösterimi üzerinde verilmektedir.

4. Matematiksel Model ve Kabuller

Tasarlanmış olan her iki iklimlendirme sisteminin analizi için ANSYS Fluent 6.3 programı kullanılmıştır. Program içeriğinde ameliyathane modelleme için kullanılabilecek herhangi bir çizim programı bulunmadığından dolayı sistemin tasarımı ve çizimi Fluent 6.3 programı ile uyumlu olan Gambit çizim programı ile yapılmıştır. Ameliyathanede bulunan ekipmanlar ve cerrahi kadronun yerleşimi, Memarzadeh ve Manning'in çalışmalarında kullandıkları yerleşim planı ile aynı kabul edilmiş ve buna göre yapılmıştır [7,16].



Şekil 5. Memarzadeh ve Manning'in çalışmalarında kullandıkları yerleşim plan [16]

Çalışma kapsamında hava ideal gaz, sıkıştırılmaz ve viskoz olarak kabul edilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda kararsız akım için süreklilik denklemi, hareket denklemleri ve türbülanslı akım oluşması durumunda k-ε türbülanslı denklemleri belirlenmiştir. Sürekli rejim şartlarında üç boyutlu sıkıştırılmaz laminer akım için süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

ile ifade edilirken burada u , v ve w sırasıyla x , y ve z doğrultusundaki hareket hızını ifade etmektedir. Süreklilik şartlarında momentum denklemleri;

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

olarak ifade edilmektedir. x doğrultusunda;

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

y doğrultusunda;

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + g\beta(T - T_1) \quad (6)$$

z doğrultusunda;

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

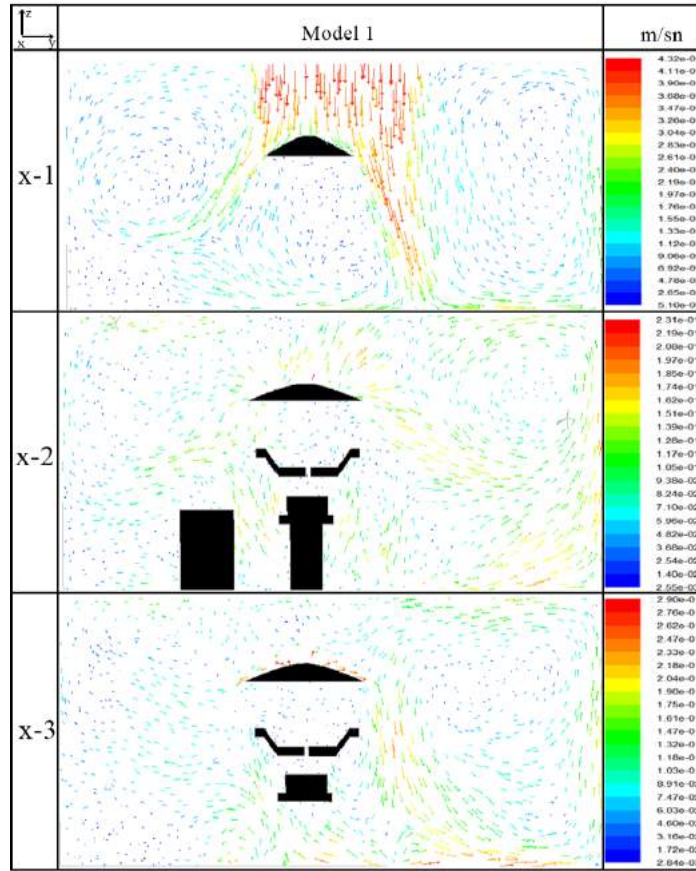
Bu eşitliklerde; β ısıl genleşme katsayısını, T ortam sıcaklığını ve T_1 işlem sırasındaki sıcaklığı ifade etmektedir. Denklemlerin sınır şartları daha önceden ANSYS Fluent 6.3 programı tarafından belirlenen sınır şartları ile aynı kabul edilmiştir.

Denklemleri çözmek için basit iterasyon yöntemi ve kapalı şema çözümleme yöntemi kullanılmıştır. Basit iterasyon yöntemi kararlı ve kararsız akımlar için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada akım lineer olmayan ve kararsız olduğu için iteratif sonlu farklar çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bunun nedeni ise kapalı hacimlerde akışkan hareketi problemlerinin çözümü için süreklilik ve momentum denklemlerinin aynı anda çözülmesinin gerekmesidir. Fakat bu iki denklem lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemler olup analitik olarak çözülememektedirler. Denklemlerin çözülmesi için ilk önce cebirsel denklemlere dönüştürmek gerektiğinden, cebirsel denklemlere dönüştürmek için Taylor serisi kullanılmıştır. Dönüştürmelerde merkezi, ileri ve geri farklar kullanılmıştır. Taylor serisi ile elde edilen cebirsel denklemlerin çözümü için Successive Under Relaxation (SUR) metodu kullanılmıştır. Teoride çözüm akış alanının her bir noktası için yapılmalıdır fakat bu durum sonsuz sayıda nokta ve sonsuz sayıda denklem demektir. Bu nedenle akış alanı küçük bölgelere bölünerek bölgelerin kesiştiği noktalara elde edilen cebirsel denklemler uygulanmıştır. Çözümün hassasiyetini etkileyen

durumlardan birisi cebirsel denklemlerin uygulandığı yerler olan düğüm noktalarıdır. Bu nedenle optimal düğüm (mesh) sayısının belirlenmesi çok önemlidir.

5. Araştırma Bulguları ve Tartışma

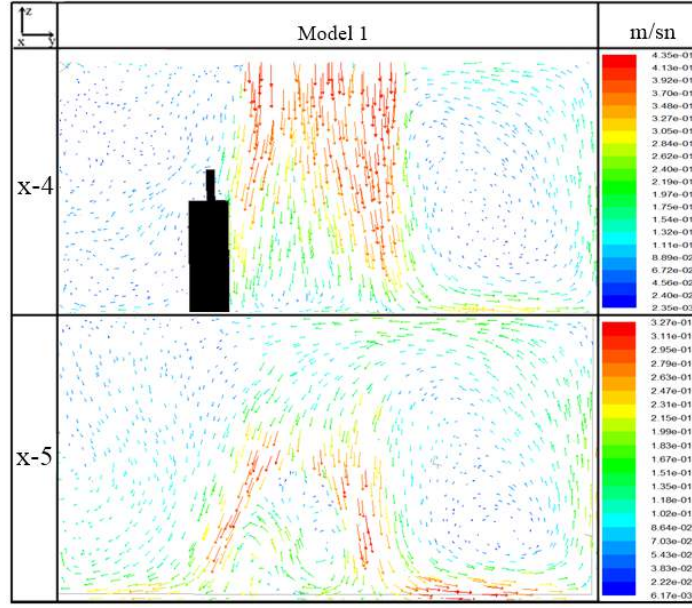
Ameliyathanelerde hasta ve personel sağlığı açısından en büyük riski oluşturan mikroorganizmaların çoğalmasını minimize etmek için dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden biriside ameliyathanenin havalandırma ve iklimlendirme sisteminin doğru ve standartlara uygun şekilde tasarlanmasıdır. Bu nedenle bir ameliyathane için odadaki cihazlar, personel ve hasta sayıları dikkate alınarak iki farklı iklimlendirme sisteminin incelendiği bu çalışmada, tasarlanan sistemlerin ameliyathane içerisine üflediği ve emdiği havanın akım yönünün ve akım hızının tespiti ANSYS Fluent programı kullanılarak yapılmıştır. Tasarlanan sistemlerden elde edilen sonuçların yaz ve kış aylarında optimum değerlerde olması için sistem ocak ve temmuz aylarının her ikisi içinde ayrı ayrı analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarının daha doğru ve detaylı incelenebilmesi için her bir iklimlendirme sistemi tasarımı için (Model-1 ve Model-2) x- düzleminde ve z- düzleminde sırasıyla 5 ve 3 farklı kesitte sonuçlar grafiksel olarak ele alınmıştır. Model-1 için hava üfleme hızı sabit ve 0,4 m/sn olarak alınmıştır. Ocak ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Ocak ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

Şekil 6'da, x-1 düzleminde; üfleme menfezinden 0,4 m/sn hızla çıkış yapan havanın ameliyathane lambasına çarpması sonucunda hızında azalma meydana geldiği görülmektedir. Yardımcı personelin bel seviyesinde, ayak ve baş bölgelerinde 0,04 m/sn civarında, bel seviyesinde ise 0,24 m/sn civarında düşük hızların olduğu görülmektedir. Sol alt bölgede ölü akış bölgelerinin olduğu görülmekte olup sağ tarafta ise saat yönünün tersinde akış bölgesi ve girdap oluşumu, sol üst bölgede saat yönünde ters akış ve girdap oluşumu orta kısmının alt bölgesinde küçük bir girdap oluşumu görülmektedir. Girdap oluşan bölgelerde ve ölü akış bölgelerinde hava sirkülasyonu engelleneceği için bu bölgelerde enfeksiyon üreme ve partikül çoğalma riski artmaktadır.

Şekil 6'da, x-2 ve x-3 düzlemlerinde; cerrahi alan üzerinde yaklaşık 0,01 m/sn durgun sayılabilecek bir hava akışı, cerrahi alet masası üzerinde de yaklaşık 0,05 m/sn düşük hızlı türbülanslı akış bölgeleri oluşmuştur. Düşük hava hızları ve türbülanslı akış hastanın enfeksiyon kapma riskini arttırmaktadır. Bu nedenle hastanın enfeksiyon kapmaması için durgun hava akışının ve türbülanslı hava akışının ortadan kaldırılması gerekmektedir. Ocak ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin x-4 ve x-5 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7. Ocak ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin x-4 ve x-5 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

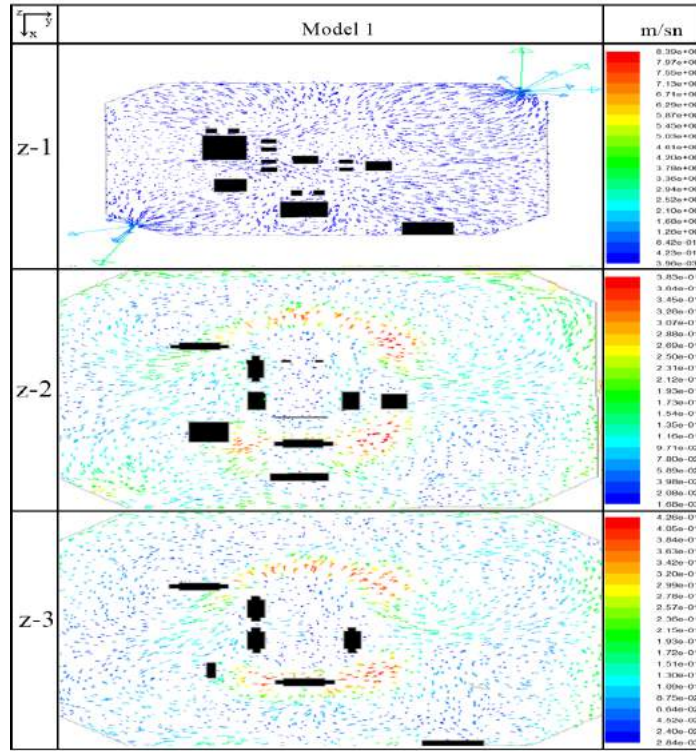
Şekil 7'de, x-4 düzleminde; laminar akış bölgesi ve bu bölgenin sağ tarafında tabandan tavana kadar olan bölgede dönümlü hava gözlenmektedir. Sol tarafta monitör ve monitör standının, dönümlü hava bölgesinin ve laminar akış bölgesinin oluşumunu engellediği görülmektedir. Monitörün tavadan asılı olmasından dolayı sol kısımda da laminar akış bölgesi ve etrafında dönümlü hava bölgesi oluşturabileceği görülmektedir. Laminar akış bölgesi ve dönümlü hava bölgesi oluşumu ölü akış bölgelerinin oluşmasını önleyebilir.

Şekil 7'de, x-5 düzleminde; farklı hızlara sahip hava akış bölgeleri görülmektedir. Orta bölgede anestezi cihazına çarpan havanın oluşturduğu türbülanslı akış bölgesi ve sağ bölgede büyük bir hava döngüsü görülmektedir.

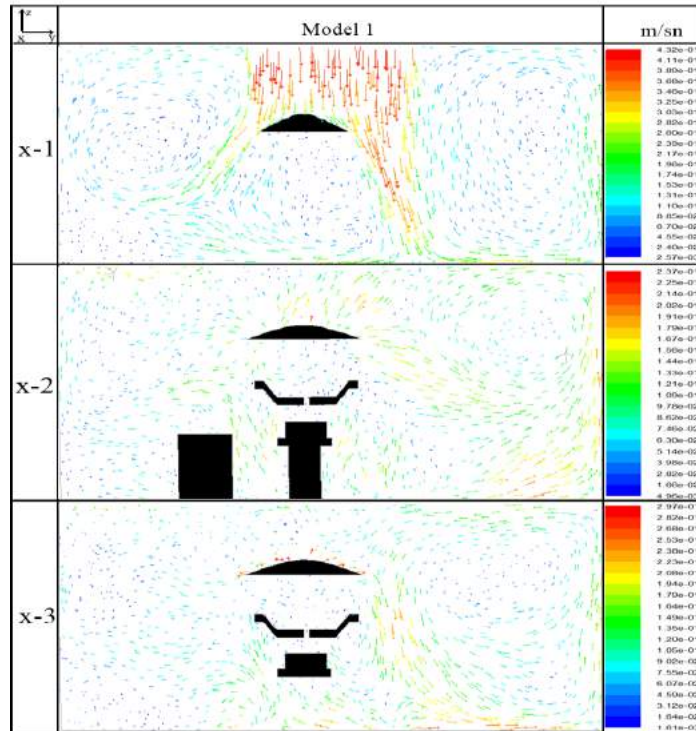
Şekil 7'de, x-1, x-4 ve x-5 düzlemlerinde laminar akış şartlarının sağlandığı fakat x-2 ve x-3 düzlemlerinde düşük hızlı türbülanslı akış bölgelerinin oluştuğu açıkça görülmektedir. Ocak ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin z-1, z-2 ve z-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 8'de görülmektedir.

Şekil 8'de, z-1 düzleminde; emme menfezlerinin girişinde çok yüksek emiş hızlarının olduğu görülürken diğer bölgelerde çok düşük hızların olduğu görülmüştür.

Şekil 8'de, z-2 ve z-3 düzlemlerinde; personeli rahatsız edecek emiş hava hızı bulunmamaktadır. Üfleme menfezleri çıkışında yaklaşık 0,35 m/sn üfleme hızı gözlemlenmektedir. Bu üfleme hızı ile havanın ameliyathanedeki engellere çarpması sonucunda cerrahi alan üzerinde ve ameliyathanenin bazı bölgelerinde 0,05 m/sn hızında ölü akış bölgeleri oluşturduğu görülmektedir. Temmuz ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 8. Ocak ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin z-1, z-2 ve z-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

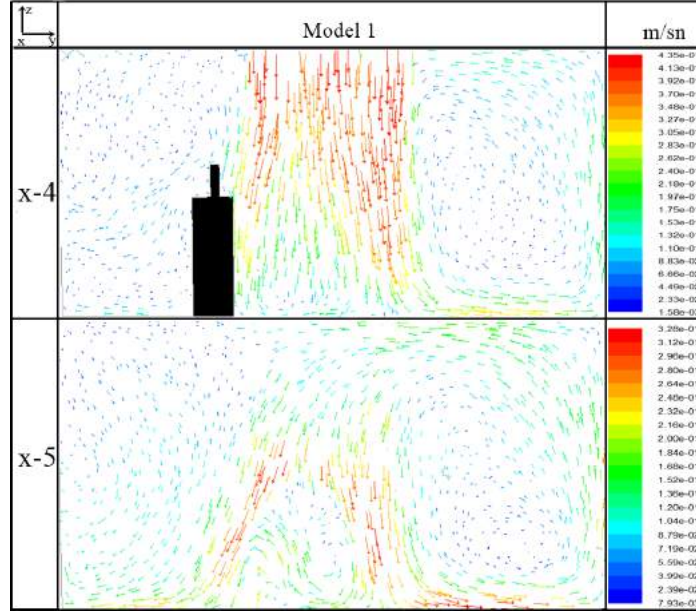


Şekil 9. Temmuz ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

Şekil 9'da, x-1 düzleminde; üfleme menfezi çıkışında 0,4 m/sn hızla çıkan havanın ameliyathane lambasına çarpıp etrafa dağılmasıyla hızının düştüğü gözlenmiştir. Yardımcı personelin bel seviyesinde 0,15 m/sn, baş ve ayak kısımlarında yaklaşık 0,02 m/sn hıza sahip havanın oluştuğu görülmektedir.

Şekil 9'da, x-2 ve x-3 düzlemlerinde; cerrahi alan üzerinde 0,03 m/sn civarında hemen hemen durgun hava akışı, cerrahi alet masası üzerinde ise 0,07 m/sn civarında düşük hızlı türbülanslı akış bölgelerinin oluştuğu görülmektedir. Düşük hava hızları ve türbülanslı akış, hastanın enfeksiyon kapma riskini artırmaktadır. Farklı hava hızlarının oluşumuna üfleme menfezinden çıkan havanın ameliyathane içerisinde yer alan cihaz ve personellere çarpması ve emme menfezlerinin özelliği olan vakum etkisinin sebep olduğu düşünülmektedir. Ameliyathane lambalarının cerrahi alan üzerinde konumlandırılmasından dolayı koruma alanı üzerinde laminer akışın kesintiye uğradığı

düzlemlerde açıkça gözlenmektedir. Ameliyat lambalarının uygun yere konumlandırılması durumunda laminer akışın istenilen düzeyde sağlanabileceği düşünülmektedir. Temmuz ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin x-4 ve x-5 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 10'da verilmektedir.

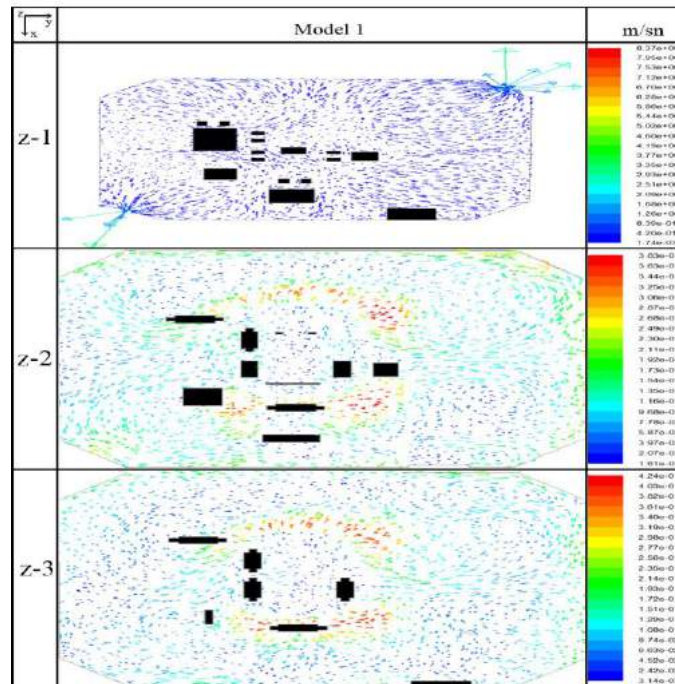


Şekil 10. Temmuz ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin x-4 ve x-5 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

Şekil 10'da, x-4 düzleminde; ameliyathanenin orta kısmında 0,4 m/sn hızında laminer akış bölgesi ve orta kısmın sağında bulunan alanda tabandan tavana kadar dönümlü hava bölgesi olduğu görülmektedir. Sol tarafında bulunan yerde ise monitör ve monitör standından dolayı dönümlü hava ve laminer akış oluşumunun engellendiği görülmektedir. Monitörün havadan askılı olması durumunda sağ tarafta oluşan dönümlü hava bölgesinin sol tarafta da oluşabileceği ve durgun ölü akış bölgelerinin oluşumunun engellenebileceği anlaşılmaktadır.

Şekil 10'da, x-5 düzleminde; üfleme menfezinin çıkışındaki laminer hava akışı etkisi azalmaya başlamıştır. Farklı hızlardaki düzensiz hava akış bölgeleri ameliyathaneye hakim durumdadır. Ölü akış bölgeleri oluşumu riski burada da görülmektedir.

X-doğrultusu boyunca altına tüm düzlemlerden elde edilen hız vektörleri bir arada incelendiğinde x-1, x-4 ve x,5 düzlemlerinde laminer akış şartlarının sağlandığı görülmüştür. Ameliyathanede laminer akış görülmeyen kısımlarda ise düşük hıza sahip türbülanslı akış bölgelerinin olduğu görülmektedir. Temmuz ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin z-1, z-2 ve z-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil 11. Temmuz ayı için Model-1'in kurulduğu ameliyathanenin z-1, z-2 ve z-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

Şekil 11’de, z-düzlemlerinde emme menfezleri girişinde çok yüksek emiş hızları, kalan bölgelerde ise çok düşük hızların olduğu görülmektedir. z-2 ve z-3 düzlemlerinde ise personeli rahatsız edecek hızların oluşmadığı görülmektedir fakat ölü akış bölgelerinin oluşumu riski z-2 ve z-3 düzlemlerinde görülmektedir.

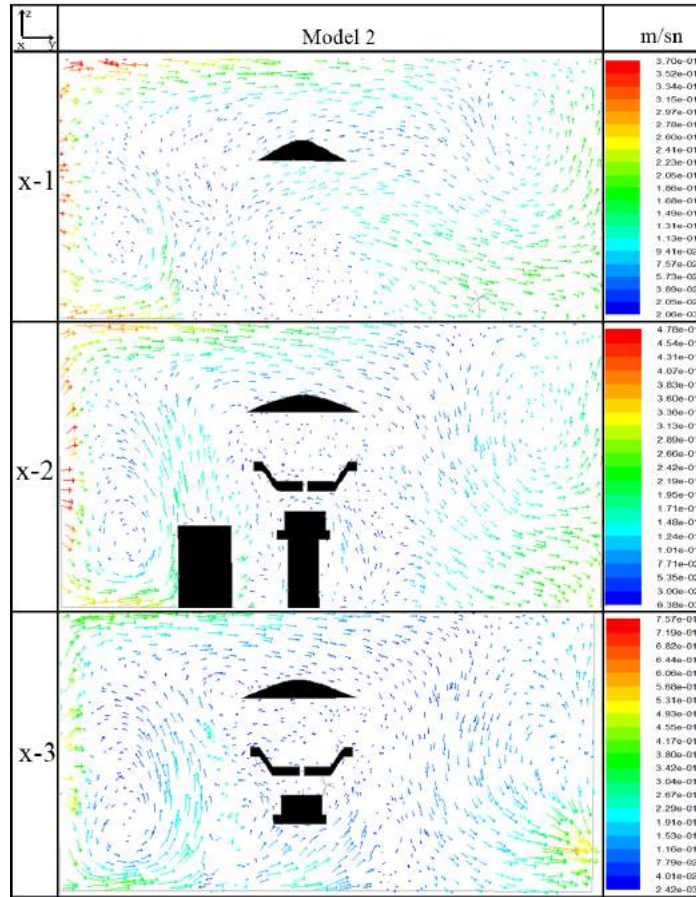
Model-2 için hava üfleme hızı sabit ve 1 m/sn olarak alınmış ve sistemin analizleri bu kabul altında yapılmıştır. Ocak ayı için Model-2’nin kurulduğu ameliyathanenin x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 12’de verilmektedir.

Şekil 12’de, x-1 düzleminde; 0,1 m/sn civarında düşük hızla sahip türbülanslı hava akışı bölgeleri gözlenmektedir. Ölü akış bölgeleri oluşumu Model-1’de olduğu gibi Model-2’de de oluşmaktadır. Bu durum enfeksiyon riskini artırmaktadır. Sağ ve sol bölgelerde küçük hava döngüleri, orta bölgede ölü akış bölgeleri gözlenmektedir.

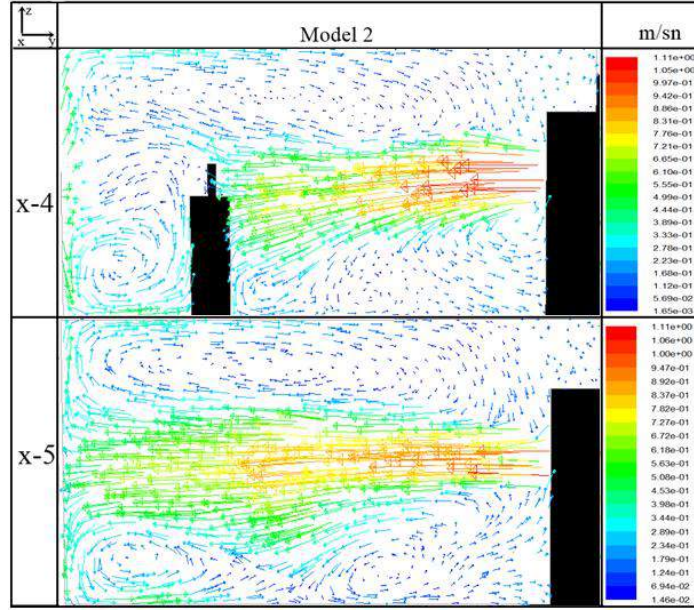
Şekil 12’de, x-2 düzleminde; cerrahi alet masası ve salonun sağ üst bölgesinde 0,1 m/sn hızla sahip hava döngüleri, cerrahi alan üzerinde aynı hızla sahip türbülanslı akış bölgeleri görülmektedir.

Şekil 12’de, x-3 düzleminde; sağ bölgede aseptizörün emme menfezi girişinde 0,9 m/sn hızla sahip vakum edilen havanın oluşturduğu vakum bölgesi, doktorun sırtı ile duvar arasında kalan bölgede 0,1 m/sn hızla sahip büyük hava döngüsü bölgesi oluşumu gözlenmektedir.

Şekil 12’de, x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinde elde edilen analiz sonuçları bir arada ele alındığında aseptizör cihazı karşısında bulunan duvar boyunca türbülanslı akışın oluştuğu görülmektedir. Ocak ayı için Model-2’nin kurulduğu ameliyathanenin x-4 ve x-5 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 13’de verilmektedir.

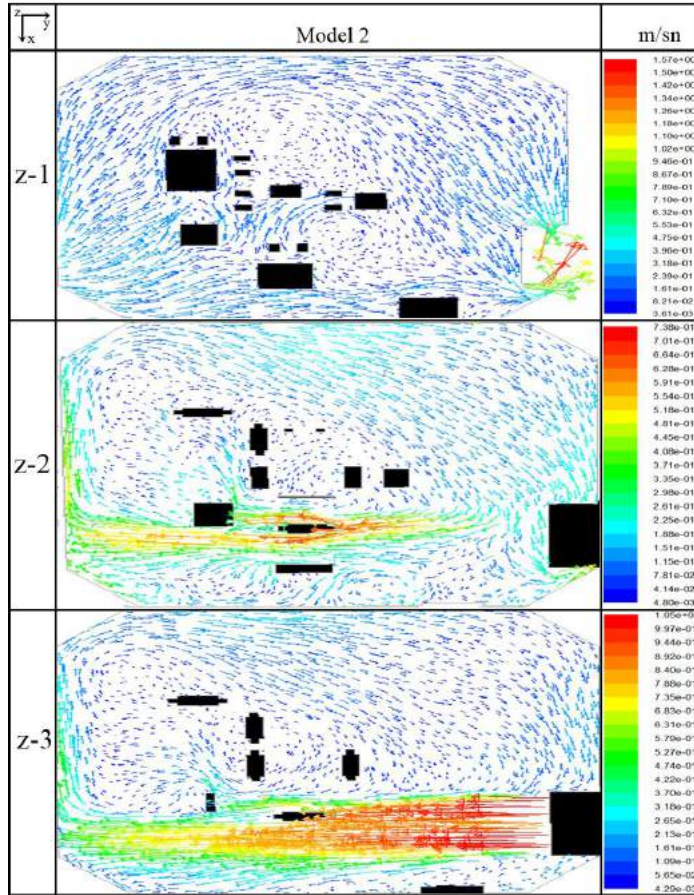


Şekil 12. Ocak ayı için Model-2’nin kurulduğu ameliyathanenin x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı



Şekil 13. Ocak ayı için Model-2'nin kurulduğu ameliyathanenin x-4 ve x-5 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

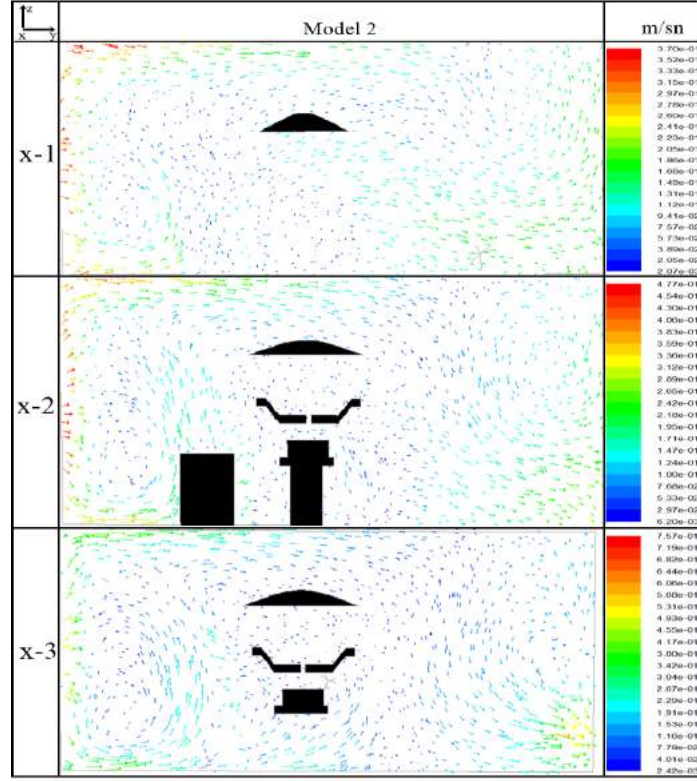
Şekil 13'de, x-4 ve x-5 düzlemlerinde; yüksek hızlı laminer akışlı bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Monitör ve monitör standının arka bölgesinde laminer akış bölgesinin alt ve üst bölgelerinde ortalama 0,1 m/sn hıza sahip hava döngüleri görülmektedir. Burada oluşan laminer akış, cerrahi alandaki kontaminasyonun uzaklaştırılmasına etki etmemektedir. Ek olarak anesteziist 1 m/sn'lik yüksek hava akış hızlarına maruz kalması anesteziisti rahatsız edecektir. Ocak ayı için Model-2'nin kurulduğu ameliyathanenin z-1, z-2 ve z-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 14'de verilmektedir.



Şekil 14. Ocak ayı için Model-2'nin kurulduğu ameliyathanenin z-1, z-2 ve z-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

Şekil 14'de, z-1 düzleminde; aseptizörün emme menfezleri girişinde 1,69 m/sn hıza ulaşabilen çok yüksek emiş hızları görülmektedir. Kalan bölgeler emme menfezleri girişinde görülen hızlara göre daha düşük olup 0,1 m/sn civarındadır.

Şekil 14’de, z-2 ve z-3 düzlemlerinde; yaklaşık 1 m/sn’lik hava akış hızı anesteziyi rahatsız edebilecektir. Kalan diğer bölgelerde 0,1 m/sn civarında, durgun sayılabilecek hava akış bölgeleri görülmekte olup enfeksiyon riskini artırmaktadır. Temmuz ayı için Model-2’nin kurulduğu ameliyathanenin x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 15’de verilmektedir.



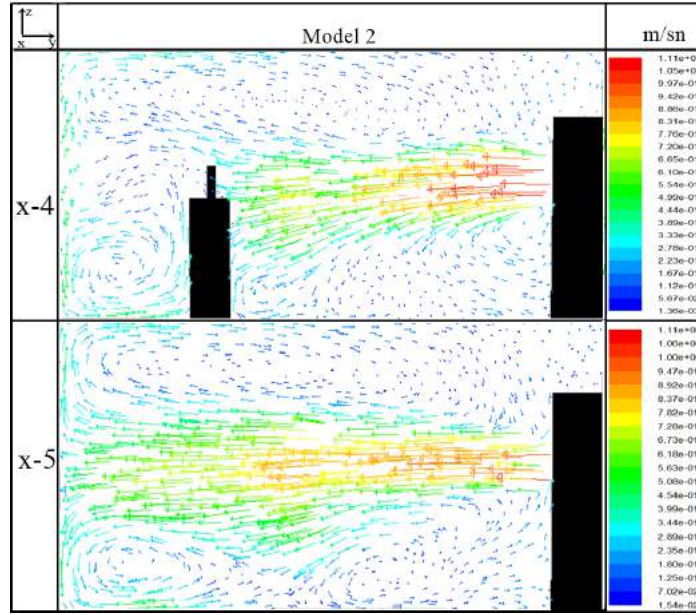
Şekil 15. Temmuz ayı için Model-2’nin kurulduğu ameliyathanenin x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

Şekil 15’de, x-1 düzleminde; 0,1 m/sn civarında düşük hızlı türbülanslı hava akışı bölgeleri görülmektedir. Durgun hava bölgelerinde enfeksiyon riski mevcuttur.

Şekil 15’de, x-2 düzleminde; cerrahi alet masası ve salonun sağ üst kısmında 0,1 m/sn civarında hıza sahip hava döngüleri görülmektedir.

Şekil 15’de, x-3 düzleminde sağ bölgede aseptizörün emme menfezi girişinde 0,9 m/sn hızında vakum edilen havanın oluşturduğu vakum bölgesi, doktorun sırtı ile duvar arasında kalan bölgede 0,1 m/sn hıza sahip büyük hava döngüsünün meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 15’de, x-1, x-2 ve x-3 düzlemlerinden elde edilen veriler bir arada ele alındığında tıpkı ocak ayında olduğu gibi, aseptizör cihazının karşısında bulunan duvar boyunca türbülanslı akış oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. Cerrahi alan üzerinde ise laminer akış sağlanamamıştır. Temmuz ayı için Model-2’nin kurulduğu ameliyathanenin x-4 ve x-5 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 16’da verilmektedir.

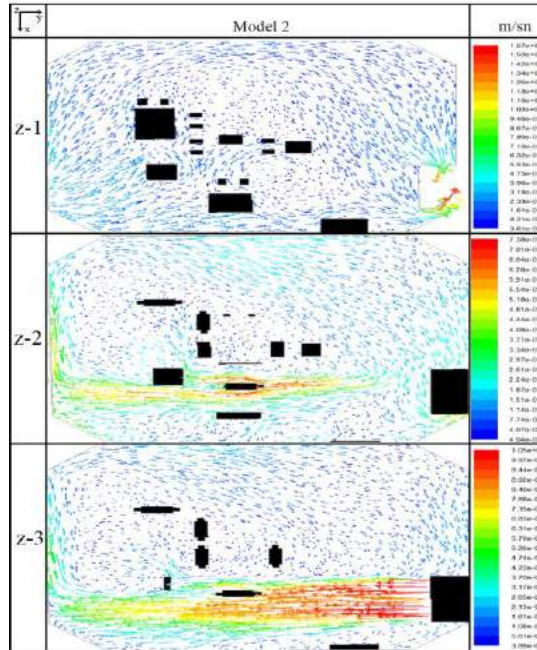


Şekil 16. Temmuz ayı için Model-2'nin kurulduğu ameliyathanenin x-4 ve x-5 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

Şekil 16'da, x-4 ve x-5 düzlemlerinde; 1 m/sn hızında laminer akışlı bölge dikkat çekmektedir. Monitör ve standı arkasında laminer akış bölgesinin alt ve üst bölgelerinde ortalama 0,1 m/sn hıza sahip hava döngüleri görülmektedir. Laminer akışın, cerrahi alandaki kontaminasyonun uzaklaştırılması için sadece aseptizör çıkışında değil cerrahi alanda da olması gerekmektedir. 1 m/sn'lik yüksek hava akış hızları konfor şartlarının çok üzerinde olup bu durumun anestezi rahatsız edeceği açıktır. Temmuz ayı için Model-2'nin kurulduğu ameliyathanenin z-1, z-2 ve z-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı Şekil 17'de verilmektedir.

Şekil 17'de, z-1 düzleminde; aseptizörün emme menfezleri girişinde 1,69 m/sn hıza ulaşabilen çok yüksek emiş hızları görülmektedir. Kalan bölgeler emme menfezleri girişinde görülen hızlara kıyasla daha düşük hava akış hızı gözlemlenmiş olup buralarda hava hızı yaklaşık 0,1 m/sn civarında ölçülmüştür.

Şekil 17'de, z-2 ve z-3 düzlemlerinde; yaklaşık 1 m/sn'lik hava akış hızı anestezi rahatsız etmektedir. Kalan diğer bölgelerde 0,1 m/sn civarında, durgun sayılabilecek hava akış bölgeleri görülmekte olup bu da enfeksiyon riskini artırmaktadır.



Şekil 17. Temmuz ayı için Model-2'nin kurulduğu ameliyathanenin z-1, z-2 ve z-3 düzlemlerinde hız vektörlerinin dağılımı

6. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmada, tasarlanan iki modelin (Model 1 ve Model 2) üfleme hızlarının ameliyathaneye etkileri, ANSYS Fluent 6.3 programıyla sayısal olarak incelenmiştir. Model-1 tavandan üfleme yapan kenarlardan emme yapan bir iklimlendirme sistemi olarak

tasarlanırken, Model-2 aseptizör yardımıyla hem üfleme hem emme yapan bir iklimlendirme sistemi olarak tasarlanmıştır. Her iki model içinde x-düzleminde 5, z-düzleminde 3 kesitte elde edilen veriler incelenmiştir.

Model-1’de incelenen kesitler bir arada ele alındığında ameliyathane lambalarının cerrahi alan üzerinde konumlandırılması sonucu düzensiz akışların meydana geldiği görülmüştür. Fakat üfleme hızı uygun olduğu için akış hızlarının rahatsız edici seviyelerde olmadığı görülmüştür.

Model 2’de ise incelenen kesitler sonucunda, cerrahi kadronun yüksek hava akış hızı sonucunda konfor şartlarının düşebileceği görülmüştür. Cerrahi alan üzerinde laminer akışın sağlanamamasından dolayı cerrahi alanda enfeksiyon oluşma riskinin arttığı görülmüştür.

Model 2’de kullanılan aseptizör cihazı, ameliyathane içerisinde bulunduğu için filtrelerin bakımı ve değişmesi esnasında filtreler de bulunan partiküllerin ameliyathane salonuna dağılması durumunda ameliyathane de enfeksiyon oluşma riskini artacağı düşünülmektedir. Aseptizör cihazının ameliyathane salonunda bulunması, ameliyathane salonunda ki gürültünün artmasına da sebep olmaktadır. Gürültünün artması, cerrahi kadroyu rahatsız ettiği için bazı zamanlarda aseptizör cihazının kapatılmasına neden olabilecektir.

Her iki model de monitör, cerrahi alet masası, ilaç dolabı, anestezi makinası gibi cihazlar tavandan askılı olmadığı için hava sirkülasyonunu engellediği ve ölü akış bölgelerini oluşturduğu görülmüştür.

Model-2’de bulunan aseptizör cihazı, standartlarda belirtildiği gibi laminer hava akımı oluşturmadığı için ve enfeksiyon riski oluşumunu artırdığı için en uygun iklimlendirme sisteminin Model-1’de ki tavandan üfleme kenarlardan emme yapan iklimlendirme sistemi olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde ve Dr. Öğr. Üyesi Yıldız KOÇ danışmanlığında yapılmış olan bu çalışma “İklimlendirilen Bir Ameliyathane Salonundaki Hava Akışının Sayısal Analizi” başlık tezden üretilmiştir. Yazarlar, çalışma boyunca katkılarından dolayı Üniversite ve Enstitü yönetimine teşekkürü bir borç bilmektedirler.

Kaynakça

- [1] Tosun, M. F., Karakuş, C., Yağlı, H., & Baltacıoğlu, H. (2015). Yoğun Bakım Ünitesinin Hijyenik İklimlendirme Hesabı ve Örnek Uygulama. *TTMD Dergisi*, 95, 30-36.
- [2] Polat Y. (2011). Bir ameliyathane salonu iklimlendirilirken oluşan hava akımının sayısal analizi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi Ocak-2011.
- [3] Türk Cerrahi Tıp Sözlüğü, (Erişim tarihi: 28.03.2019), <http://www.turkcerrahi.com/tip-sozlugu/ameliyathane/>
- [4] Ufat, H., Kaynaklı, O., Yamankaradeniz, N., & Yamankaradeniz, R. (2018). Investigation of the number of particles in an operating room at different ambient temperatures and inlet velocities. *International Journal of Ventilation*, 17(3), 209-223.
- [5] Nastase, I., Croitoru, C., Vartires, A., & Tataranu, L. (2016). Indoor environmental quality in operating rooms: an European standards review with regard to Romanian guidelines. *Energy Procedia*, 85, 375-382.
- [6] Dasari, K. B., Albrecht, M., & Harper, M. (2012). Effect of forced-air warming on the performance of operating theatre laminar flow ventilation. *Anaesthesia*, 67(3), 244-249.
- [7] Polat, Y., Yağlı, H., & Koç, Y. (2019). Bir Ameliyathanenin İklimlendirilmesi Süresince Hava Akımının Modellenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (15), 420-432.
- [8] Süngü, A. (2007). Ameliyathane havalandırma sistemleri IVF ve genetik laboratuvar havalandırma sistemleri. 5. *Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*, 466-485.
- [9] Salim Ö. (2009). Hastane iklimlendirme sistemlerine genel bir bakış. 6. *Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*, 17-27.
- [10] Çoşgun, A., Korkmaz, A., & Doğdu, N. (2011). Hastanelerde Hijyenik Ortamlarda İç Hava Kalitesinin Araştırılması ve Modellenmesi (Antalya Örneği). III. *Ulusal İklimlendirme Kongresi*, 56-630.
- [11] Taşdemir C. Hastane Ameliyathane ve Yoğun Bakımlarda Modüler Hijyen Klima Teknolojisi ve Enerji Maliyetleri. (Erişim tarihi: 20.02.2019) <https://docplayer.biz.tr/7959664-Hastane-ameliyathane-ve-yogunbakimlarda-moduler-hijyen-klima-teknolojisi-ve-enerji-maliyetleri.html>
- [12] Ayçam, İ. & Yazıcı, A. (2017). Evaluation of operating room units within the context of green design criteria. *Gazi University Journal of Science*, 30(1), 1-15.
- [13] Coşkun, Ö. (2007). Hastane hijyenik iklimlendirme sistemleri ile enfeksiyon kontrolü. 3. *Ulusal Yoğun Bakım Enfeksiyonları Sempozyumu*.
- [14] Hansen, D., Krabs, C., Benner, D., Brauksiepe, A., & Popp, W. (2005). Laminar air flow provides high air quality in the operating field even during real operating conditions, but personal protection seems to be necessary in operations with tissue combustion. *International journal of hygiene and environmental health*, 208(6), 455-460.
- [15] Provent Professional Ventilation systems. Paket Tip Hijyenik Klima Santrali Kataloğu. (Erişim Tarihi: 28.03.2019) <https://docplayer.biz.tr/3422857-Paket-tip-hijyenik-klima-santrali.html>
- [16] Memarzadeh, F., & Manning, A. P. (2002). Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site/Discussion. *ASHRAE transactions*, 108, 3.



The Effects of the Corporate Governance Quality of Companies on the Price Performance: A New Generation of Panel Data Analysis on the Companies Listed in the Borsa İstanbul Corporate Governance Index

Esin Behür Aktürk^{1*}, Mustafa Özyeşil²

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi Yönetim Organizasyon Programı Yerel Yönetimler Bölümü (ORCID: 0000-0001-5756-1042)

² İstanbul Aydın Üniversitesi İşletme Yönetimi (İngilizce) Bölümü

(First received 30 May 2019 and in final form 16 July 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.571948)

ATIF/REFERENCE: Behür, E. A. & Özyeşil, M. (2019). The Effects of the Corporate Governance Quality of Companies on the Price Performance: A New Generation of Panel Data Analysis on the Companies Listed in the Borsa İstanbul Corporate Governance Index. *European Journal of Science and Technology*, (16), 620-630.

Abstract

In this study; The effects of corporate governance quality assessment notes (corporate governance rating) of firms traded on Borsa İstanbul on the stock prices of firms were investigated with the help of the New Generation Panel Data Analysis methods of 27 firms using the annual data of 2012-2018 period. The presence of cross-sectional dependence among firms included in the analysis; Breusch and Pagan (1980) were tested by LM test, Pesaran (2004) LM test, Pesaran (2004) CD test and Baltagi, Feng and Kao (2012) LMBC test and it was found that there was a horizontal cross-sectional dependence between firms. Stability of series; Pesaran (2007) was examined with CADF panel unit root test and all series were determined as I (0). The coefficients in the models were estimated by using Westerlund (2007) OLSAdj method and when the corporate governance quality of the firms increased by 1 unit, it was determined that the stock prices would increase by TL 1.13.

Causality relations between series; Dumitrescu and Hurlin (2012) method was examined and one-way causality relationships were found between firms' corporate governance quality and share prices.

Key Words: Corporate Governance Index, Stock Return, Capital Structure, Panel Data Analysis

1. Introduction

The concept of corporate governance has gained more importance in the recent years. One of the main reasons for getting this attraction is the problems experienced in the management issues. These problems, which causes the negative financial results in the first place, in later stages are capable of adversely affecting a firm in terms of all business functions and may lead it to bankruptcy. The main reason of scandals such as Worldcom, Enron, Xerox and Global Crossing in the world is the lack of implementation of corporate governance. Because of the importance of these companies in the sector, bankruptcies have negatively affected the whole market. The purpose of this study is to find out the effects of corporate governance quality on stock price performance.

For this purpose, New Generation Panel Data Analysis methods were performed with the annual data of 27 firms for the period of 2012-2018. In the first part of the study, corporate governance concept, corporate governance principles and corporate governance index are explained. Then, the studies in the literature about the subject were examined and detailed information was provided about the panel data analysis. In the analysis part of the study, stock returns were used as independent variables and corporate governance ratings were

¹ Corresponding Author: İstanbul Aydın Üniversitesi Yönetim Organizasyon Programı Yerel Yönetimler Bölümü, ORCID: 0000-0001-5756-1042, esinakturk@aydin.edu.tr

used as independent variables and econometric analyzes were performed. The test results obtained from the analysis are examined and interpreted in this section.

2. Conceptual Framework

2.1 Corporate Governance

The process of development and change that has been occurring rapidly in this century, created new ideas and approaches in the business management. Corporate governance has become one of the important approaches during this process. Factors such as the development of national and international economies, the progression of commercial relations, the increase of international and national capital pass-through, the decrease observed in the activities of the shareholders and the increasing importance of the decisions of the board of directors have been effective in the emergence of the concept of corporate governance. The reasons for the transformation of corporate governance into such an important issue are the failures of joint management, crises, misconduct, the role of the private sector, the interdependence of the commercial activities of the countries, the change in the competition conditions of the partnerships. In the light of these advances, corporate governance has been discussed in international and national processes and has become popular all over the world (Dinç ve Abdioğlu, 2009:159).

2.2 Corporate Governance Principles

Capital Markets Board (CMB) which aims to regulate and monitor to capital markets and was established for this purpose, also published corporate governance principles in 2003 to further improve the corporate governance base for companies and to make Turkish Capital Markets a competitive international global financial markets and revised these principles in 2005. The CMB prepared its activities in line with the principles of the OECD and the principles of other developing countries on the same dates. CMB prepared corporate governance principles of OECD first in 1999 and then revised them in 2005, this has been base for many developing countries which want to prepare these principles (Ertuna & Tükel, 2008:8).

Among the corporate governance principles first one is Fairness refers to treat all shareholders and employees equally and justly. The principle of fairness includes the protection of the rights of the shareholders, including the foreign shareholders and minority shareholders, and the implementation of the agreements signed. The principle of fairness includes equal and equitable treatment of all stakeholders and protection of their rights. A fair and equitable management practice can be mentioned when firm management approaches through equal treatment to all employees (Öztürk, 2013:24). Another principle is the transparency principle. Transparency is sharing all non-financial and financial information related to businesses except for the information that is not disclosed to the public due to the nature of trade secrets (confidential information), with all stakeholders in a timely, complete, accurate, easy, understandable, interpretable and accessible manner. The principle of transparency is an approach chain that includes the process before and after the operating activity and the process of the continuation of these activities. It is considered as a good corporate governance practice that the companies announce their prior period operational and financial performance to their investors and underline important risks they may face in the future. Thus; performance, risk and target management subjects constitute the basis for transparency and awareness issues for the enterprises and positively affect the perception of the investors (Acungüç, 2017: 21).

The principle of accountability reveals that corporate governance should not only consist of principles but also be accountable. This requirement also covers the post-transaction period and also considers that the board of directors can freely monitor the performance of the firm's top level and ensure the accountability of senior executives to stakeholders. The most important requirement of the accountability principle in corporate governance is the effective and efficient work sharing between the top management and the board of directors. (TKYD and Deloitte, 2006: 5).

The last principle is responsibility principle refers taking responsibility for the works of the company in accordance with the corporate governance. Businesses should not act with the aim of only creating added value or making a profit in making decisions process in order to sustain their lives. Within the framework of changing and developing management thinking and in the context of creating corporate governance, the concept of responsibility awareness has become a remarkable issue. The issue of responsibility is that senior management feels responsibility not only to business partners but also to shareholders, stakeholders and all society. Social ethical values and other moral factors should also be taken into consideration when making decisions in top management or board of directors. With this principle, it has become necessary for the enterprise to ensure that the regulations comply with social values and laws (Demirbaş ve Uyar, 2006: 240).

2.3 Corporate Governance Index

The Corporate Governance Index (XKURY) is an index covers enterprises that carry out and perform the Corporate Governance Principles. In this index, a credit rating of 1 to 10 points is made on whether the listed firms except for in the Custody Market and C List apply the Corporate Governance Principles. If the compliance rating of the Corporate Governance Principles is close to 1, it shows that the enterprise is failing to apply Corporate Governance Principles, if it is close to 10 it indicates that the company meets the requirements of the Corporate Governance Principles more powerful. At the meeting of the Board of Directors of Borsa İstanbul on 23.02.2005, it was decided to include enterprises which their compliance rating score is at least 7 or above in this index (except for ones traded in the custody market). In this index, the relation between share price and corporate governance principles compliance score of enterprises are measured. Within the scope of the rating activities conducted in order to comply with the Corporate Governance Principles, in the Capital Markets Board's 8th and 40th communiqués it is demanded that the institutions that will perform the credit

rating of the partnerships should be evaluated independently, impartially, fairly and classified accordingly. Businesses subject to these principles have a crucial chance to increase trust and credibility of its internal and external stakeholders.

Table 1. Companies Listed in the Corporate Governance Index

Equity Code	Name
AKSGY	Akiş Real Estate Investment Trust Inc.
AKMGY	Akmerkez Real Estate Investment Trust Inc.
AKSA	Aksa Akrilik Chemical Industry Inc.
ALBRK	Albaraka Türk Participation Bank Inc.
ANSGR	Anadolu Anonim Türk Insurance Company
AEFES	Anadolu Efes Brewery and Malt Industry Inc.
ARCLK	Arçelik Inc..
ASELS	Aselsan Electronics Industry and Trade Inc.
AYGAZ	Aygaz Inc.
CCOLA	Coca-Cola Beverage Inc.
CRDFA	Creditwest Factoring Inc.
DOHOL	Doğan Holding Inc.
DGGYO	Doğuş Real Estate Investment Trust Inc.
DOAS	Doğuş Automobile Service and Trade Inc.
ENKAI	Enka Enka Construction and Industry Inc.
EREGL	Ereğli Iron and Steel Factories Inc.
GARFA	Garanti Factoring Inc.
GRNYO	Garanti Investment Trust Inc.
GLYHO	Global Investment Holding Inc.
HURGZ	Hürriyet Journalism and Typography Inc.
IHEVA	İhlas Household Appliances Manufacturing Industry and Trade Inc.
IHLAS	İhlas Holding Inc.
ISFIN	İş Leasing Inc.
ISGYO	İş Real Estate Investment Trust Inc.
ISMEN	İş Investment Securities Inc.

Source: (www.kap.org.tr)

3.Literature Review

Bayraktaroğlu and Çelik (2015), investigated whether corporate governance principles affect the effectiveness of the activities of the Borsa Istanbul. For this reason, the GARCH Model, which is one of the volatility models, was applied to the 1st and 2nd sessions daily values for the period between August 31, 2007 and May 27, 2014. As a result of the analysis, it was concluded that the application of Corporate Governance Principles for BIST-100 and BIST-30 Indices has a negative effect on the volatility of share returns.

Sakarya (2011) examined the relationship between the declarations of the corporate governance principles compliance rating and the share yields of the 11 companies that were listed in the BIST and were accepted to the Corporate Governance Index by obtaining valid rating for the first time in 2009. The Event Study method was preferred to determine the relationship between corporate governance principles compliance rating and stock returns. As a result of the analysis, it was concluded that there is a positive relationship between corporate governance compliance rating and stock returns. It has been revealed that abnormal returns can be provided over the share price movements before and after the announcement date of the corporate governance rating of the companies covered by the index. The author claimed that this was an indication that the market was ineffective even in semi-strong form.

Brown (2009), in his study, examined the relationship between financial performance and the corporate governance of the top 300 enterprises in Australia. He examined the relationship between the corporate governance principles practices and the financial performance of an enterprise that adopted the corporate governance principles at the Australian Stock Exchange (ASX). It has been determined that enterprises with better corporate governance practices have better financial performance than other enterprises and it is concluded that these firms have better earnings per share and asset profitability ratios.

Aksu and Aytakin (2015) examined the relationship between the Corporate Governance Principles compliance rating and the stock returns of 50 enterprises listed in BIST Corporate Governance Index (XKURY) by using the daily data between 2009-2014. Kolmogorov Smirnov test was applied by calculating the log yield averages of the shares' closing prices for the 5 and 10 days period before and after the announcement of the corporate governance rating of the enterprises. Normally distributed data were tested by paired t-test and data not normally distributed by Wilcoxon method. As a result of these analyzes, it was concluded that there was a statistically significant difference between the stock returns and the corporate governance ratings of the enterprises for before and after the announcement dates.

4. Econometric Model and Analysis Results

In this part of the study, data set, econometric model and explanations about the results of analysis are discussed.

4.1 Data Set and Model

In order to determine the effects of the corporate governance quality on the stock prices of companies, the annual data of the 2012-2018 period of 27 firms, whose shares are traded in Borsa İstanbul and which are included in the Corporate Governance Index and whose corporate governance rating ratings can be reached, were used.

Corporate governance ratings are obtained from www.tkyd.org and share price information is obtained from www.investing.com.

The econometric model created in the study is as follows:

$$\text{Model 1: } Price_{it} = \beta_0 + \beta_1 Rating_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

The description of the notations in the above equation is as follows;

Price refers to end-of-day closing prices of stocks (TL), Rating represents companies' corporate governance ratings [0-100], ε_{it} expresses the series of error terms free of econometric problems. As the stock prices of the companies that has high corporate governance ratings are expected to increase, as a result of the analyzes, it is expected that the result will be $\beta_1 > 0$.

4.2 Method and Analysis Results

Firstly; the existence of cross-sectional dependence between the firms included in the analysis; were tested by Breusch and Pagan (1980) LM test, Pesaran (2004) LM test, Pesaran (2004) CD test and Baltagi, Feng and Kao (2012) LMBC test. The stationary levels of the series used in the analysis were analyzed by CADF panel unit root test which was developed by Pesaran (2007) for analysis by considering the cross-sectional dependence. The coefficients in the models were estimated by the Bias Adjusted OLS (OLSAdj) method developed by Westerlund (2007) to take into account the cross-sectional dependence. The existence of causality relations between the series was investigated by Dumitrescu and Hurlin (2012) panel causality test.

4.2.1 Horizontal Cross-Section Test

Economic activities tend to be significantly affected from each other. Due to increasing globalization activities particularly in the 20th and 21st centuries, the possibility and speed of effect of an economic or political shock occurred in one of the countries to other countries has also increased. Particularly, a shock observed in one of the countries in close interaction or in one of the firms located in the same country can easily affect others. This is called as horizontal cross-section dependence in econometric literature. New Generation (second generation) panel data analysis methods which have been developed recently, have performed analysis by taking into consideration the possible dependence between the sections (countries, firms, etc.) that form the panel. First of all, cross-sectional dependence tests should be performed. If this type of dependency can be detected between the horizontal sections forming the panel as a result of the test, Next Generation Panel Data Analysis methods should be used.

Horizontal cross-sectional dependence tests were started with Breusch and Pagan (1980) LM tests, which were based on a standard panel data model as follows:

$$y_{it} = \beta_i' x_{it} + u_{it}, \quad i = 1, \dots, N; \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

The explanations of the notations included in the model are as follows:

x_{it} ; $k \times 1$ size of the extrinsic variables matrix,

u_{it} ; show a series of economically error-free error terms.

Berusch and Pagan (1980), based on the Lagrange Multiplier (LM) test statistic to test the existence of a dependence between the horizontal sections.

$$LM = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2 \quad (3)$$

Pesaran (2004), has scaled Breusch and Pagan (1980) LM test for situation where the number of horizontal cross sections is very large and he expanded Equation (3) in the following way :

$$LM_S = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T_i \hat{\rho}_{ij}^2 - 1) \quad (4)$$

Pesaran (2004) developed the CD test statistic by solving the probable size distortion problem in LM and LM_S tests:

$$CD = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T_i \hat{\rho}_{ij}^2 \tag{5}$$

Baltagi, Feng and Kao (2012) obtained the LMBC (Bias-Corrected LM) test statistic by correcting the asymptotic deviations in the LM test:

$$LM_{BC} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T_i \hat{\rho}_{ij}^2 - 1) - \frac{1}{2(T-1)} \tag{6}$$

The hypotheses of these tests:

$H_0: Cov(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{jt}) = 0$ There is no cross-sectional dependence in the panel.

$H_1: Cov(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{jt}) \neq 0$ There is cross-sectional dependence in the panel.

In this study, cross-sectional dependence tests were performed by using Eviews 10 program and the findings are presented in Table 2.

Table 2. Horizontal Section Dependency Test Results

	<i>LM</i>	<i>LM_S</i>	<i>CD</i>	<i>LM_{BC}</i>
Price	630.92*** (0.00)	10.56*** (0.00)	9.81*** (0.00)	8.31*** (0.00)
Rating	1668.28*** (0.00)	49.71*** (0.00)	40.05*** (0.00)	47.46*** (0.00)

Note: Numbers in parentheses refer to probability values. **** indicates the existence of cross-sectional dependence between firms in the related series at a level of 1% significance level. LM_{BC} test statistics cannot be generated for models.

According to the findings in Table 2, there are cross-sectional dependence among the firms included in this study. In other words, an important economic shock in one of these companies affects the others. Then, Next Generation Panel Data Analysis methods should be taken into consideration.

4.2.2 Panel Unit Root Test

Stationary levels of the series used in the analysis were examined by Pesaran (2007) CADF panel unit root test, which considers the cross-sectional dependence. In this method, the test statistic required for the unit root test to be performed on a y series is shown as follows:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \beta_i Y_{it-1} + \lambda_i f_t + \varepsilon_{it} \tag{7}$$

The notations in the equation are shown in the as follows:

f_t ; shows common factors affecting the series. In CADF test, firstly the unit root parameters (ρ_i) are calculated for each company, then the unit root test statistic (CIPS) that is valid for the general panel is reached.

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \rho_i \tag{8}$$

The hypotheses of the CADF panel unit root test are as follows:

$H_0: \beta_i = 0$, The series is not stationary for all companies.

$$H_1: \begin{cases} \beta_i < 0, i = 1, 2, \dots, N_1. & \text{Series are stationary for the some firms.} \\ \beta_i = 0, i = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N. & \text{The Series For Some Firms Are Not Stationary.} \end{cases}$$

In this study, Pesaran (2007) CADF panel unit root test was performed by using Gauss 10 program and related codes written for this program and the results are presented in Table 3.

Table 3. CADF Panel Unit Root Test Results

Variables	Calculated CIPS Test Statistics	Critical Value		
		%1	%5	%10
Price	-11.68	-	-	-
		1.85	1.61	1.49
Rating	-9.60	-	-	-
		1.85	1.61	1.49

Note: Δ; shows that the first difference of the related series was taken. ***, ** and *; 1 indicate related series are stationary in the significance level %, 5% and 10% respectively. Critical values are those obtained from Table II (a) of Pesaran (2007: 279) and valid for T = 10, N = 30.

According to the results in Table 3, series are stationary in their original values in other words they are (I). In this case, analysis which will be based on original values of the series will not face false regression problem and the results will be reliable. As the series is stationary at the original level values, there is no need to perform panel cointegration testing.

4.2.3 Panel Regression Analysis

The coefficients in the models were estimated by using the Bias Adjusted OLS Estimator: OLSAdj method developed by Westerlund (2007) by correcting the deviation of Bai-Kao (2006) Cup-Fm method. This method considers the cross-sectional dependence through common factors in the series and takes into account the intrinsicity. It is a robust estimation method for autocorrelation and heteroscedasticity problems.

In the study, the coefficients in the models were calculated by using Westerlund (2007) OLSAdj method with Gauss 10 program and codes written for this program and the results obtained are presented in Table 4.

Table 4. Panel Regression Analysis Results

	Rating	Constant Item
Model 1	1.13 [12.69]	0.91 [6.35]

Note: Values included in the [] are t statistics. The t statistic table values in the 10%, 5% and 1% significance levels are respectively; 1.28, 1.64 and 2.32.

According to the findings in Table 4, when the corporate governance quality of the companies increases by 1 unit, stock prices will increase by TL 1.13. These results are very useful in terms of revealing the importance of corporate governance quality in increasing stock prices. It is useful for the top managers of the firms to focus on this issue. The signs of the coefficients obtained are consistent with our expectations.

4.2.4 Panel Causality Test

In this study, the existence of causality relations between the series was examined by the method developed by Dumitrescu and Hurlin (2012). This method can also consider the cross-sectional dependence between the horizontal cross-sections (firms in this study) and the causality relationships between some horizontal cross-sections. This test is based on the following models

$$y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_i^{(k)} y_{it-k} + \sum_{k=1}^K \beta_i^{(k)} x_{it-k} + \varepsilon_{i,t} \tag{9}$$

$$x_{it} = \theta_i + \sum_{k=1}^K \varphi_i^{(k)} x_{it-k} + \sum_{k=1}^K \psi_i^{(k)} y_{it-k} + \varepsilon_{i,t} \tag{10}$$

Test hypotheses:

$H_0: \beta_i = 0$, There is no causality from x to y in all horizontal sections

$H_1: \begin{cases} \beta_i < 0, i = 1, 2, \dots, N_1. & \text{There is causal relationship from } x \text{ to } y \text{ in some horizontal sections.} \\ \beta_i = 0, i = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N. & \text{There is no causality from } x \text{ to } y \text{ in some horizontal sections.} \end{cases}$

Dumitrescu and Hurlin (2012) developed two different test statistics to test this hypothesis:

$$W = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_{i,T} \tag{11}$$

$$Z = \sqrt{\frac{N}{2K}} (W - K) \tag{12}$$

Here W_{iT} ; shows individual Wald statistics. K is the expected value of W_{iT} ; Dumitrescu and Hurlin (2012) panel causality test was conducted by Eviews 10 program and the findings are presented in Table 5.

Table 5. Panel Causality Test Results

<i>Null Hypothesis</i>	<i>W Statistic</i>	<i>Z Statistic</i>	<i>Probability Value</i>
Rating → Price	3.35	1.25	0.03**
Price → Rating	1.11	0.25	0.32

Note: ***, ** and * indicate that there is a causality relationship from the first variable to the second variable at the level of 1%, 5% and 10% respectively.

According to the findings in Table 5, one-way causality relationships were determined from the corporate governance quality (Note) to stock prices. These results are important for reinforcing the effects of corporate governance quality on stock prices. These results provide important information for the company managers trying to keep their stock prices high or ensure their price stability. It can be concluded that managers firstly improve their corporate governance quality.

5. Conclusion and Recommendation

In this study, the effects of corporate governance ratings of companies listed in Borsa İstanbul's Corporate Governance Index on share price performance are examined. For this purpose, the annual data of the 27 companies which are included in the index and whose data can be reached are used in the analysis. The econometric model which was established in this study was investigated through the New Generation Panel Data Analysis methods. Due to the possibility of convergence of firms, the existence of cross-sectional dependence among the firms included in the analysis was investigated. Breusch and Pagan (1980) LM test, Pesaran (2004) LM test, Pesaran (2004) CD test and Baltagi, Feng and Kao (2012) LMBC test were performed for horizontal cross-sectional dependence and it was found that there was horizontal cross-sectional dependence between firms. As a result, it was decided that the Next Generation Panel Data Analysis methods considering the cross - sectional cross - sectional dependence should be used in the later stages of the study.

In the next stage of the analysis, stationary levels of the series were tested by unit root test. Due to the cross-sectional dependence was found between the sections, in the model Pesaran (2007) CADF panel unit root test that considers the horizontal dependence was used. As a result of the test, it was determined that all series were stationary in other words they are I(0). Therefore, the models created through these series will not have a spurious regression problem in other words, the results will be reliable. As the series is stationary at the original level values, there is no need to perform panel cointegration testing. The coefficients in the models were estimated by using the Bias Adjusted OLS Estimator (OLSAdj) method developed by Westerlund (2007) by correcting the deviation of Bai-Kao (2006) Cup-Fm method. According to these estimations, when the corporate governance quality of the companies increases by 1 unit, the share price will increase by TL 1.13. These results reveal the importance of the quality of corporate governance practices in increasing the firm values of companies and making them sustainable. The firm needs to pay attention to the importance of corporate governance practices in order to increase the reputation of the firms in the eyes of the existing and potential investors, to make the stability of stock prices sustainable and to reduce the cost of capital.

The existence of causality relations between the series included in the model was examined by the method developed by Dumitrescu and Hurlin (2012). According to the results of the test, the one-way causality relationship of the companies from the corporate governance rating to the stock prices was observed. This result is important in terms of showing the effects of corporate governance quality on stock prices once more again.

As a result, it has been determined that it is possible to have a high and sustainable market value thanks to the reputation and brand value provided by the companies to comply with the corporate governance practices. Firm management should regard corporate governance activities as a strategic investment tool rather than a cost element.

References

- Acungüç, A. Ç. (2017). *Kurumsal Yönetim Uygulamalarının Hisse Senetleri Borsada İşlem Gören Şirketler Üzerindeki Etkisi ve Değerlendirilmesi*. İstanbul: T.C. Okan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Aksu, M., Aytekin, S. (2015), Kurumsal Yönetim İlkelerine Uyum Notu İle Hisse Senedi Getirisi İlişkisi: BIST Kurumsal Yönetim Endeksi (XKURY) Üzerine Bir Uygulama, Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi, Sayı:13, Cilt:6, S: 201-2019, DOI: 10.17823/gusb.193
- Bai, J. and Kao, C. (2006). *On the Estimation and Inference of a Panel Cointegration Model with Cross Sectional Dependence*. in Badi Baltagi (Ed.), *Panel Data Econometrics: Theoretical Contributions and Empirical Applications*, Amsterdam: Elsevier Science, pp. 3- 30.
- Baltagi, B. H, Feng, Q. and C. Kao (2012). A Lagrange Multiplier test for Cross-sectional Dependence in a Fixed Effects Panel Data Model. *Journal of the Econometrics*, 170, 164–177.
- Bayraktaroğlu, H. ve Çelik, İ. (2015), Kurumsal Yönetim Uygulamalarının Getiri Oynaklığı Üzerine Etkisi: Borsa İstanbul'da Bir Araştırma, Akdeniz Üniversitesi İİBF Dergisi, Cilt XVII Sayı:1,S: 97-108
- Breusch, T.S and Pagan, A.R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification Tests in Econometrics. *Review of Economic Studies*, 47, 239-53.
- Brown, R. (2009), Treasury Working Paper, http://archive.treasury.gov.au/documents/1495/PDF/TWP_2009-02.pdf
- Demirbaş, M., Uyar, S. (2006). *Kurumsal Yönetim İlkeleri ve Denetim Komitesi*. İstanbul : Güncel Yayıncılık.
- Dumitrescu, E.I. and Hurlin, C. (2012). Testing for Granger Non-Causality in Heterogeneous Panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460.
- Eberhardt, M. and Bond, S. (2009). Cross-section Dependence in Nonstationary Panel Models: A Novel Estimator. *MPRA Paper*, No. 17870.
- Ertuna, B., ve Tükel, A. (2008), Şirketlerin Kamuyu Aydınlatma Düzeyleri: Ortaklık Yapısı Ve Kurumsal Yönetimin Etkileri, İ.M.K.B. Dergisi, Sayı:40.
- Pesaran, M.H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels, *Cambridge Working Papers in Economics*, 435.
- Sakarya, Ş. (2011), İMKB Kurumsal Yönetim Endeksi Kapsamındaki Şirketlerin Kurumsal Yönetim Derecelendirme Notu ve Hisse Senedi Getirileri Arasındaki İlişkinin Olay Çalışması (Event Study) Yöntemi İle Analizi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt:7, Sayı:13, S: 147–162
- TKYD ve Deloitte . (2006). *Nedir Bu Kurumsal Yönetim?* İstanbul: TKYD ve Deloitte Ortak Yayını.
- Westerlund, J. (2007). Estimating Cointegrated Panels with Common Factors and the Forward Rate Unbiasedness Hypothesis. *Journal of Financial*

Appendix:

Annex 1. Annual stock returns and corporate governance ratings of the firms included in the sample

Equity Code	Year	Rating	Stock Price Performance	Stocks Closing Price	Operating Profit & Loss - %	Operating Profit & Loss
AEFES	2012	89,39	14,98%	23,79	-10,58%	540.206.000
AEFES	2013	93,30	-7,99%	21,89	36,40%	736.820.000
AEFES	2014	91,26	-2,38%	21,37	24,28%	915.707.000
AEFES	2015	95,46	-15,16%	18,13	8,47%	993.310.000
AEFES	2016	95,77	-28,01%	17,14	-5,37%	939.940.000
AEFES	2017	95,77	31,33%	23,81	33,19%	1.251.949.000
AEFES	2018	95,83	20,19%	20,60	28,28%	1.605.960.000
AGHOL	2012	87,75	63,13%	14,91	-67,12%	76.528.000
AGHOL	2013	90,73	18,98%	17,74	-21,45%	60.111.000
AGHOL	2014	88,16	4,90%	18,61	55,23%	93.308.000
AGHOL	2015	91,69	-34,01%	12,28	58,69%	148.067.000
AGHOL	2016	91,88	3,66%	12,73	596,02%	1.030.574.000
AGHOL	2017	92,01	85,31%	23,59	42,11%	1.464.508.000
AGHOL	2018	95,28	-56,59%	10,24	30,51%	1.911.378.000
ALBRK	2012	82,20	81,48%	1,47	19,32%	241.225.000
ALBRK	2013	86,16	-9,52%	1,33	24,18%	299.543.000
ALBRK	2014	83,92	15,04%	1,53	8,68%	325.552.000
ALBRK	2015	85,86	-22,22%	1,19	15,74%	376.778.000
ALBRK	2016	87,54	-6,72%	1,11	-29,95%	263.920.000
ALBRK	2017	88,05	35,14%	1,50	9,43%	288.800.000
ALBRK	2018	89,23	-18,67%	1,22	-41,66%	168.495.000
ARCLK	2012	91,07	102,11%	9,60	15,97%	763.700.000
ARCLK	2013	92,80	8,13%	10,38	12,76%	861.147.000
ARCLK	2014	91,00	28,32%	13,32	14,70%	987.741.000
ARCLK	2015	94,80	-3,60%	12,84	10,01%	1.086.638.000
ARCLK	2016	95,23	54,91%	19,89	10,23%	1.197.777.000
ARCLK	2017	95,23	4,42%	20,77	14,52%	1.371.744.000
ARCLK	2018	95,35	-23,98%	15,79	48,50%	2.037.064.000
AYGAZ	2012	89,57	12,95%	5,06	12,39%	167.253.000
AYGAZ	2013	92,71	-4,35%	4,84	2,56%	171.529.000
AYGAZ	2014	91,35	28,10%	6,20	-31,07%	118.235.000
AYGAZ	2015	93,58	6,29%	6,59	114,61%	253.739.000
AYGAZ	2016	93,61	30,05%	8,57	22,56%	310.980.000
AYGAZ	2017	93,64	48,42%	12,72	-20,42%	247.481.000
AYGAZ	2018	93,99	-21,86%	9,94	-52,12%	118.497.000
CCOLA	2012	88,81	65,27%	35,17	42,87%	461.412.000
CCOLA	2013	92,01	40,60%	49,45	29,01%	595.284.000
CCOLA	2014	90,17	-1,80%	48,56	6,84%	635.991.000
CCOLA	2015	94,02	-25,80%	36,03	5,11%	668.460.000
CCOLA	2016	94,48	-10,57%	32,22	-5,91%	628.955.000
CCOLA	2017	94,52	3,94%	33,49	36,62%	859.259.000
CCOLA	2018	94,52	-7,79%	30,88	41,48%	1.215.683.000
DOAS	2012	82,15	222,49%	5,45	20,02%	303.678.000
DOAS	2013	90,05	-15,05%	4,63	-9,14%	275.912.000
DOAS	2014	91,45	101,73%	9,34	15,51%	318.697.000
DOAS	2015	94,20	-3,53%	9,01	36,43%	434.794.000
DOAS	2016	95,10	-10,88%	8,03	-21,20%	342.611.000
DOAS	2017	96,30	-6,10%	7,54	32,20%	452.937.000
DOAS	2018	96,41	-42,44%	4,34	12,33%	508.773.000
DOHOL	2012	90,31	73,47%	0,85	407,86%	123.553.000
DOHOL	2013	91,81	-21,18%	0,67	-88,57%	14.122.000
DOHOL	2014	90,00	2,99%	0,69	-586,11%	- 68.648.000
DOHOL	2015	93,56	-24,64%	0,52	-227,77%	87.714.000
DOHOL	2016	93,98	32,69%	0,69	124,84%	197.217.000
DOHOL	2017	94,06	14,49%	0,79	-106,08%	- 11.984.000
DOHOL	2018	94,18	17,72%	0,93	-3208,94%	372.575.000
GLYHO	2012	88,04	13,51%	1,26	-99,32%	- 141.478
GLYHO	2013	88,60	-0,79%	1,25	-629,69%	749.388
GLYHO	2014	88,60	9,60%	1,37	-2088,38%	- 14.900.652
GLYHO	2015	87,92	20,44%	1,65	-271,48%	25.551.249
GLYHO	2016	89,90	-2,42%	1,61	24,82%	31.892.471
GLYHO	2017	90,52	124,22%	3,61	-99,24%	242.465

Equity Code	Year	Rating	Stock Price Performance	Stocks Closing Price	Operating Profit & Loss -	Operating Profit & Loss
GLYHO	2018	90,60	-17,17%	2,99	51034,68%	123.983.710
HALKB	2012	87,73	80,57%	15,71	26,26%	3.329.139.000
HALKB	2013	92,05	-29,15%	11,13	1,07%	3.364.892.000
HALKB	2014	89,58	16,26%	12,94	-18,95%	2.727.255.000
HALKB	2015	92,63	-24,27%	9,80	4,71%	2.855.643.000
HALKB	2016	92,97	-8,47%	8,97	17,37%	3.351.550.000
HALKB	2017	93,76	17,28%	10,52	40,52%	4.709.582.000
HALKB	2018	93,96	-33,27%	7,02	-42,29%	2.717.818.000
HURGZ	2012	90,90	31,43%	0,92	314,60%	25.467.874
HURGZ	2013	90,90	-34,78%	0,60	-93,95%	1.540.966
HURGZ	2014	90,83	43,33%	0,86	-1854,62%	- 27.038.052
HURGZ	2015	93,58	-30,23%	0,60	-104,81%	1.300.772
HURGZ	2016	92,79	23,33%	0,74	1415,63%	19.714.887
HURGZ	2017	91,27	81,08%	1,34	-0,56%	19.603.696
HURGZ	2018	92,67	-30,60%	0,93	-329,12%	- 44.916.670
IHEVA	2012	76,75	19,35%	0,74	-75,12%	- 1.585.534
IHEVA	2013	80,49	-44,59%	0,41	-298,69%	3.150.239
IHEVA	2014	77,93	-12,20%	0,36	-182,73%	- 2.606.183
IHEVA	2015	80,60	-16,67%	0,30	-356,09%	6.674.131
IHEVA	2016	80,82	-3,33%	0,29	22,91%	8.202.950
IHEVA	2017	81,99	75,86%	0,51	60,70%	13.182.501
IHEVA	2018	83,75	-35,29%	0,33	109,59%	27.628.779
IHLAS	2012	80,94	62,34%	1,25	-64,16%	- 16.465.413
IHLAS	2013	81,48	-66,40%	0,42	358,15%	- 75.435.527
IHLAS	2014	78,57	-26,19%	0,31	20,30%	- 90.745.879
IHLAS	2015	80,38	-29,03%	0,22	17,40%	- 106.531.284
IHLAS	2016	80,46	36,36%	0,30	-182,21%	87.578.135
IHLAS	2017	81,45	76,67%	0,53	-86,04%	12.223.756
IHLAS	2018	83,32	6,67%	0,32	677,23%	95.006.115
LOGO	2012	85,97	158,99%	3,60	80,12%	11.949.689
LOGO	2013	89,12	22,22%	4,40	74,70%	20.876.694
LOGO	2014	85,47	519,09%	27,24	41,61%	29.563.687
LOGO	2015	90,76	57,12%	42,80	36,86%	40.459.639
LOGO	2016	91,24	26,99%	54,35	70,58%	69.014.638
LOGO	2017	90,83	8,10%	58,75	-14,97%	58.681.661
LOGO	2018	91,14	-53,80%	27,14	16,25%	68.219.374
OTKAR	2012	86,80	83,59%	32,66	25,42%	94.029.871
OTKAR	2013	91,03	36,22%	44,49	40,41%	132.028.553
OTKAR	2014	89,22	70,29%	75,76	-15,83%	111.133.109
OTKAR	2015	92,81	7,19%	81,21	-4,16%	106.508.909
OTKAR	2016	93,19	52,69%	124,00	13,63%	121.024.000
OTKAR	2017	93,32	-5,26%	117,48	2,29%	123.796.000
OTKAR	2018	91,03	-26,89%	85,89	33,72%	165.537.000
PNSUT	2012	88,67	12,51%	10,43	-22,48%	53.027.836
PNSUT	2013	91,49	15,82%	12,08	2,76%	54.491.224
PNSUT	2014	88,63	28,48%	15,52	-0,73%	54.093.421
PNSUT	2015	91,78	-14,43%	13,28	-0,28%	53.943.908
PNSUT	2016	92,37	2,11%	13,56	20,60%	65.058.187
PNSUT	2017	92,62	-16,08%	11,38	-13,91%	56.007.432
PNSUT	2018	92,71	-45,34%	6,22	37,20%	76.839.544
PRKAB	2012	84,39	-1,87%	1,05	22,48%	13.569.917
PRKAB	2013	86,55	18,10%	1,24	3,99%	14.111.181
PRKAB	2014	86,59	2,42%	1,27	125,39%	31.805.175
PRKAB	2015	90,90	89,76%	2,41	21,16%	38.535.332
PRKAB	2016	90,92	-19,09%	1,95	-7,93%	35.479.358
PRKAB	2017	91,13	25,64%	2,45	-42,35%	20.454.024
PRKAB	2018	91,76	-29,80%	1,72	237,10%	68.949.927
PRKME	2012	88,24	102,55%	3,97	26,22%	101.693.610
PRKME	2013	89,80	-19,90%	3,18	-66,34%	34.228.853
PRKME	2014	86,96	-10,06%	2,86	-151,25%	- 17.543.742
PRKME	2015	90,29	-12,59%	2,50	-100,08%	13.583
PRKME	2016	90,79	-18,40%	2,04	-121531,21%	- 16.494.001
PRKME	2017	90,79	104,41%	4,17	-7,96%	- 15.180.984
PRKME	2018	90,01	-42,21%	2,41	-23,10%	- 11.674.523
SKBNK	2012	88,21	98,77%	1,61	97,19%	310.685.000

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi

Equity Code	Year	Rating	Stock Price Performance	Stocks Closing Price	Operating Profi & Loss -	Operating Profit & Loss
SKBNK	2013	90,95	16,15%	1,87	-14,92%	264.339.000
SKBNK	2014	90,83	-5,88%	1,76	6,19%	280.701.000
SKBNK	2015	91,10	-4,55%	1,68	-69,63%	85.246.000
SKBNK	2016	91,70	-29,76%	1,18	63,78%	139.615.000
SKBNK	2017	91,90	55,08%	1,83	-0,06%	139.527.000
SKBNK	2018	92,70	-6,78%	1,10	-24,88%	104.813.000
TAVHL	2012	92,44	16,19%	6,53	27,06%	362.576.000
TAVHL	2013	93,97	75,19%	11,44	32,85%	481.668.000
TAVHL	2014	92,96	27,88%	14,63	29,05%	621.614.000
TAVHL	2015	95,19	-1,30%	14,44	38,89%	863.337.000
TAVHL	2016	95,38	-18,42%	11,78	22,17%	1.054.706.000
TAVHL	2017	96,17	67,49%	19,73	32,54%	1.397.886.000
TAVHL	2018	96,25	11,45%	21,99	65,68%	2.316.012.000
TOASO	2012	90,25	88,44%	7,01	-2,28%	479.906.000
TOASO	2013	91,39	39,37%	9,77	1,51%	487.151.000
TOASO	2014	87,93	25,38%	12,25	9,55%	533.669.000
TOASO	2015	90,61	26,12%	15,45	32,86%	709.009.000
TOASO	2016	91,38	34,50%	20,78	19,02%	843.896.000
TOASO	2017	91,48	37,58%	28,59	54,61%	1.304.776.000
TOASO	2018	92,04	-45,75%	15,51	34,70%	1.757.524.000
TRCAS	2012	84,00	48,84%	2,56	17,19%	- 12.194.636
TRCAS	2013	87,51	-22,66%	1,98	7,25%	- 13.078.321
TRCAS	2014	90,90	2,53%	2,03	10,99%	- 14.515.823
TRCAS	2015	92,70	-27,09%	1,48	44,34%	- 20.951.641
TRCAS	2016	93,50	2,03%	1,51	6,99%	- 22.416.235
TRCAS	2017	94,86	66,23%	2,51	16,28%	- 26.064.679
TRCAS	2018	95,70	-43,82%	1,41	-123,11%	6.023.433
TTKOM	2012	88,01	6,65%	5,45	-4,08%	3.246.331.000
TTKOM	2013	88,02	-6,24%	5,11	-7,14%	3.014.653.000
TTKOM	2014	85,20	27,20%	6,50	-6,20%	2.827.749.000
TTKOM	2015	89,08	-19,23%	5,25	1,34%	2.865.599.000
TTKOM	2016	90,24	0,57%	5,28	-9,56%	2.591.752.000
TTKOM	2017	91,75	21,97%	6,44	49,49%	3.874.312.000
TTKOM	2018	92,87	-39,44%	3,90	24,91%	4.839.350.000
TTRAK	2012	89,02	91,99%	37,61	-5,42%	294.203.542
TTRAK	2013	91,04	12,50%	42,31	10,49%	325.058.490
TTRAK	2014	88,86	37,79%	58,30	-8,71%	296.742.363
TTRAK	2015	90,85	-2,68%	56,74	22,62%	363.867.627
TTRAK	2016	91,49	15,56%	65,57	25,00%	454.817.128
TTRAK	2017	92,13	7,50%	70,49	-6,90%	423.428.607
TTRAK	2018	92,16	-50,49%	34,90	-2,95%	410.918.822
TUPRS	2012	91,00	41,11%	31,27	-46,30%	1.024.982.000
TUPRS	2013	93,43	-10,33%	28,04	-24,53%	773.582.000
TUPRS	2014	89,91	33,59%	37,46	-31,36%	530.996.000
TUPRS	2015	94,41	25,87%	47,15	511,93%	3.249.302.000
TUPRS	2016	94,15	10,80%	52,24	-18,33%	2.653.780.000
TUPRS	2017	94,67	84,59%	96,43	90,81%	5.063.658.000
TUPRS	2018	94,81	8,20%	104,34	56,35%	7.916.939.000
VESTL	2012	88,32	4,42%	1,89	-116,66%	- 73.002.000
VESTL	2013	90,94	-17,99%	1,55	-313,36%	155.757.000
VESTL	2014	89,92	309,68%	6,35	191,18%	453.535.000
VESTL	2015	91,24	-19,53%	5,11	28,89%	584.572.000
VESTL	2016	93,60	24,27%	6,35	-4,07%	560.800.000
VESTL	2017	94,86	19,21%	7,57	-10,82%	500.111.000
VESTL	2018	96,50	-26,68%	5,55	268,96%	1.845.202.000
YKBNK	2012	88,08	92,68%	3,16	4,00%	2.449.242.000
YKBNK	2013	93,22	-27,53%	2,29	4,37%	2.556.327.000
YKBNK	2014	90,34	34,50%	3,08	-14,02%	2.197.965.000
YKBNK	2015	93,35	-31,17%	2,12	-8,04%	2.021.348.000
YKBNK	2016	93,42	4,25%	2,21	56,74%	3.168.213.000
YKBNK	2017	94,29	26,70%	2,80	23,05%	3.898.596.000
YKBNK	2018	95,75	-42,86%	1,60	30,30%	5.079.987.000



Türkiye'deki Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Antioksidan Potansiyelleri ve Fenolik Kompozisyonları

Ayşe Karadağ^{1*},

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Meteraluji Fakültesi, Gıda Mühendisliği, 34210, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8615-7321)

(İlk Geliş Tarihi 1 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.592711)

ATIF/REFERENCE: Karadağ, A. (2019). Türkiye'deki Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Antioksidan Potansiyelleri ve Fenolik Kompozisyonları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 631-637.

Öz

Tıbbi ve aromatik bitkiler, insanlık tarihinin ilk zamanlarından beri sadece gıda ve kozmetik amaçlı olarak değil aynı zamanda hastalık risklerine karşı geleneksel tedavi amacı ile de kullanılmıştır. Bu bitkilerin tüketiminin dejeneratif hastalıklarla ilgili riskleri azaltma potansiyellerinin, sahip oldukları antioksidan özellik gösteren biyoaktif bileşikler, özellikle fenolik maddelerle ilgili olduğu son yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Günümüzde sağlıklı beslenme ve fonksiyonel gıdalara olan ilginin artması ile beraber, bu bitkilerin üretimi ve kullanımlarıyla ilgili talebin önümüzdeki yıllarda artacağı öngörülmektedir. Bu çalışmada, ülkemizde sıklıkla tüketilen bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin (adaçayı, anason, çemen, ıhlamur, melisa, defne yaprağı, nane, reyhan, rezene ve sinameki) toplam fenolik madde miktarları, antioksidan potansiyelleri, ve fenolik kompozisyonları belirlenmiştir. Toplam fenolik madde içeriği açısından en zengin bitkiler adaçayı, ıhlamur, defne ve melisa (16.89-21.12 mg GAE/g bitki), en düşük bitkiler ise anason, çemen ve rezene yaprağı (3.47-3.77 mg GAE/g bitki) olarak belirlenmiştir. Dört farklı yöntemle, 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) (ABTS), 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH), ferrik iyonu indirgeyici antioksidan potansiyeli (FRAP) ve bakır (II) iyonu indirgeyici antioksidan kapasitesi tayini, belirlenen toplam antioksidan kapasitesi sonuçlarına göre ıhlamur, adaçayı, defne yaprağı ve melisa en yüksek antioksidan potansiyele sahip bitkiler olmuştur. Toplam fenolik madde içeriği ile antioksidan potansiyeli arasında önemli derecede yüksek korelasyon olduğu ($R^2=0.87-0.89$) gözlenmiştir. EC50 değeri, DPPH ve ABTS analizleri açısından değerlendirildiğinde, en yüksek ıhlamur (5.93 ± 0.53 ve 1.05 ± 0.03 mg bitki/mL) ve en düşük anason (82.13 ± 12.08 ve 12.08 ± 0.79 mg bitki/mL) bitkilerine ait olmuştur. Çalışmada belirlenen fenolik madde içeriği açısından ise, protokatesuik asit, kafeik asit, klorojenik asit ve ferulik asitin bu bitkilerde en sık belirlenen fenolik asitler olduğu ve flavonoidlerden ise kuersetin ve kaempferolün belirlendiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi ve aromatik bitkiler, baharat, antioksidan, fenolik

Antioxidant Potential and Phenolic Compositions of Some Aromatic and Medicinal Herbs in Turkey

Abstract

Medicinal and aromatic herbs have been used in human history for not only food and cosmetic purposes, but also for their medicinal properties. The studies conducted recently have revealed that the potential of reducing the risks of degenerative diseases upon the consumption of those plants is related to their bioactive constituents, specifically phenolic compounds, which possess antioxidant potential. Nowadays, with the increasing demands for healthy diet and functional foods, the production and consumption of aromatic and medicinal herbs are predicted to grow in future. In this study, the total phenolic content, antioxidant potential and phenolic composition of some plants (sage, anise, fenugreek, linden, lemonbalm, bay leaf, mint, purple basil, fennel and senna) frequently used

¹ Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Meteraluji Fakültesi, Gıda Mühendisliği, 34210, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8615-7321, aykar78@hotmail.com

in Turkish cuisine have been determined. In terms of total phenolic content, sage, linden, bay leaf and lemon balm (16.89-21.12 mg GAE/g plant) had the highest level, whereas, anise, fenugreek and fennel had the lowest content (3.47-3.77 mg GAE/g plant). Total antioxidant capacities were analysed by four different methods: 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) diammonium salt (ABTS), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), ferric reducing antioxidant power (FRAP) and cupric ion reducing antioxidant capacity (CUPRAC) assays. Linden, sage, bay leaf and lemon balm had the highest antioxidant potential and there was a significant and high correlation between total phenolic content and antioxidant potential values ($R^2=0.87-0.89$). EC50 values of DPPH and ABTS assay were found to be the highest for linden (5.93 ± 0.53 and 1.05 ± 0.03 mg plant/mL) and lowest for anise (82.13 ± 12.08 and 12.08 ± 0.79 mg plant/mL). The phenolic composition determined in this study showed that the most frequently observed phenolic acids in those plants were protocatechuic acid, caffeic acid, chlorogenic and ferulic acid, whereas kaempferol and quercetin were the major flavonoids.

Keywords: Medicinal and aromatic herbs, spice, antioxidant, phenolics

1. Giriş

Tıbbi ve aromatik bitkiler, yüzyıllardır gıdalarda tat, lezzet, renk, aroma ve koruyucu olarak kullanılmalarının yanısıra, kozmetik amaçlı, boyar madde olarak ve geleneksel tedavi amacıyla da kullanılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün verilerine göre gelişmemiş ülkelerde nüfusun %80'i tarafından tedavi amaçlı geleneksel reçeteler kullanılırken, gelişmiş ülkelerde bu oran %40 düzeyindedir; ayrıca günümüzde farmasötik ilaçların %25'i tıbbi bitkilerden üretilmektedir. Gelecek yıllarda ise bu oranın artacağı öngörülmektedir (Acıbuca & Budak, 2018). Fonksiyonel gıda, temel besleyicilik özelliklerinin yanısıra insan sağlığı için fayda sağlayan, belirli hastalıklar ile ilgili riski azaltma özelliği olan bileşenleri belirli miktarlarda içeren gıdalar olarak tanımlanmaktadır. Bu bileşenler, gıdaların kompozisyonunda doğal olarak bulunabileceği gibi, daha sonra da eklenerek gıda bu bileşenlerce zenginleştirilebilir (Hasler, 2002). Bu anlamda doğal antioksidan özellik gösteren bileşikler, gıdayı proses ve depolama sırasında oluşabilecek oksidatif bozulma reaksiyonlarına karşı koruyan gıda katkı maddeleri olarak kullanılmalarının yanısıra, yapılan çalışmalar bu bileşiklerin serbest radikal oluşumunu engellemelerinden dolayı bağışıklık sistemini güçlendirici etkileri olduğunu da göstermektedir (Sindhi ve ark., 2013).

Türkiye, tıbbi ve aromatik bitkiler açısından oldukça zengin olup, kekik, defne yaprağı ve kimyon gibi ürünlerde en önemli ihracatçı ülkedir. Tıbbi bitki ihracatı yapan 110 ülke arasında ise 18. sırada yer almaktadır (Acıbuca & Budak, 2018). Tıbbi ve aromatik bitkiler, mükemmel doğal antioksidan kaynakları olup, içerdikleri biyoaktif bileşikler, özellikle fenolik maddeler, diyabet, obezite, kanser ve kalp-damar hastalıkları gibi dejeneratif hastalık risklerini azaltma potansiyeline sahiptirler (Patch ve ark., 2006). Ülkemizde sıklıkla tüketilen tıbbi ve aromatik bitkilerin antioksidan potansiyelleri ve fenolik madde içerikleri ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bundan dolayı, bu çalışmanın amacı kurutulmuş halde temin edilen adaçayı, anason, çemen, ıhlamur, defne yaprağı, melisa, nane, reyhan, rezene ve sinameki bitkilerinin toplam fenolik madde içeriğinin, farklı yöntemlerle antioksidan potansiyellerinin ve fenolik kompozisyonunun belirlenmesidir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan kurutulmuş tıbbi ve aromatik bitki örnekleri (adaçayı, anason, çemen, ıhlamur, defne yaprağı, melisa, nane, reyhan, rezene ve sinameki) 2019 yılında İstanbul, Türkiye'de çeşitli aktarlardan temin edilmiştir. Her analiz üç kez tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması verilmiştir. Tüm örnekler, öğütücüde toz haline getirilerek ekstraksiyon işlemine alınmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan tıbbi ve aromatik bitkiler

Bitki adı	Botanik adı	Familiya	Kullanılan kısım
Adaçayı	<i>Salvia fruticosa</i> Mill.	Labiatae	Yaprak
Anason	<i>Pimpinella anisum</i> L.	Umbelliferae	Tohum
Çemen	<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	Fabaceae	Tohum
Defne yaprağı	<i>Laurus nobilis</i> L.	Lauraceae	Yaprak
ıhlamur	<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	Tiliaceae	Yaprak-Çiçek
Melisa (oğul otu)	<i>Melissa officinalis</i> L.	Lamiaceae	Yaprak
Nane	<i>Mentha spicata</i> L.	Labiatae	Yaprak
Reyhan	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Labiatae	Yaprak
Rezene	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Umbelliferae	Tohum
Sinameki	<i>Cassia angustifolia</i>	Fabaceae	Yaprak

2.2. Metod

2.2.1. Ekstraktların hazırlanması

Her örnekten üç farklı ekstrakt hazırlanmıştır. Bu amaçla, hegzan ile yağı uzaklaştırılan bitki örnekleri daha sonra bir gece çeker ocak altında kurutulmuştur. Kurutulan örneklerin nem tayinleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, 1 g toz örnek, 10 mL %80 metanol:su çözeltisi ile ultrasonik su banyosunda 15 dakika ekstrakte edilmiştir. Santrifüjlenen (4000 rpm, 4°C, 10 dak) örneklerden çözgen fazı ayrılmış, kalan katı faza 2 kez daha ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Daha sonra 50°C'de vakum altında çözgen fazı tamamen uzaklaştırılmış ve tüm ekstraktlar %80 metanol:su karışımı ile 10 mL'ye çözdürülerek stok çözeltiler hazırlanmıştır. Ekstraktlar -18°C'de analiz gününe kadar depolanmıştır.

2.2.2. Nem tayini

Öğütücü ile homojen toz haline getirildikten sonra yağı uzaklaştırılan ve kurutulan örneklerin nem tayinleri RADWAG MA 50.R hızlı nem tayin cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Toplam fenolik madde tayini

Ekstraktların toplam fenolik madde (TF) içeriği, Singleton & Rossi (1965) tarafından tanımlanan Folin-Ciocalteu (FC) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Referans standart olarak gallik asit seçilmiştir. 0.5 mL ekstrakt çözeltisine, 2.5 mL FC reaktifi (0.2 N) eklenmiştir. 3 dakika sonra reaksiyon tüpüne 2 mL %7.5 Na₂CO₃ ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım oda sıcaklığında karanlık bir yerde 30 dakika bekletildikten sonra, örneklerin absorbans değerleri spektrofotometre (Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre, Japonya) kullanılarak 760 nm'de ölçülmüştür. Sonuçlar 10-100 µg/mL lineer aralıkta mg gallik asit eşdeğeri (GAE) /g örnek şeklinde verilmiştir.

2.2.4. DPPH Serbest Radikali Yakalama Aktivitesi Tayini

Örneklerin antioksidan aktivitesi belirlenmesi, DPPH serbest radikali yakalama aktivitesi, ABTS⁺ radikal katyon yakalama aktivitesi, ferrik iyonu indirgeyici antioksidan potansiyeli (FRAP) ve bakır (II) iyonu indirgeyici antioksidan kapasitesi (CUPRAC) tayini olmak üzere 4 farklı yöntemle gerçekleştirilmiştir.

Kararlı bir organik nitrojen radikali olan 1,1-difenil-2-pikril hidrazil (DPPH) antioksidan kapasitesinin belirlenmesini sağlayan yöntemde kullanılmaktadır. Yöntem Singh ve ark. (2002) 'na göre gerçekleştirilmiş olup. 100 µL ekstrakt, 4.9 mL DPPH metanol çözeltisi (0.1mM) ile karıştırılıp, karışım oda sıcaklığında ve karanlıkta 2 saat bekletilmiştir. Reaksiyon sonrası oluşan renk 517 nm' de ölçülmüş ve %DPPH radikali yakalama aktivitesi (1) hesaplanmıştır. DPPH konsantrasyonunun yarısını inhibe eden antioksidan (örnek) konsantrasyonu EC50 olarak ifade edilmiş ve örneklerin belirli aralıktaki konsantrasyonlarına (anason, çemen ve rezene için 15-300 mg örnek/mL; reyhan ve sinameki için 6-100 mg örnek/mL; diğer örnekler için ise 5-30 mg örnek/mL) karşılık gelen %DPPH radikali yakalama aktivitesi grafiğinden EC50 değeri hesaplanmıştır.

$$\%DPPH \text{ radikali yakalama aktivitesi} = \frac{\text{Kontrolün absorbans değeri} - \text{örneğin absorbans değeri}}{\text{Kontrolün absorbans değeri}} \times 100 \quad (1)$$

2.2.5. ABTS⁺ Radikali Yakalama Aktivitesi Tayini

ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) radikali yakalama aktivitesi Re ve ark. (1999)'na göre gerçekleştirilmiştir. ABTS radikal katyonu, ABTS stok çözeltisinin (7mM) 2.45 mM potasyum persülfat çözeltisi ile karıştırılması ve karışımın kullanımdan önce 12-16 saat boyunca oda sıcaklığında karanlıkta bekletilmesiyle hazırlanmıştır. Ölçümler için stok çözeltisi 734 nm'de 0.700' lük bir absorbansa gelene kadar saf su ile seyreltilmiştir. Belirlenen konsantrasyonlarda hazırlanan örnekler (anason, çemen ve rezene için 1.6-30 mg örnek/mL, diğerleri için 0.6-6 mg örnek/mL), 0.1 mL ekstrakta, 2 mL ABTS çözeltisi eklendikten sonra 6 dak. karanlıkta bekletilmiş, 734 nm'de absorbans okunmuş ve ABTS radikali yakalama aktivitesi (2) hesaplanmıştır. EC50 değeri, örnek konsantrasyonuna karşı % ABTS radikali yakalama aktivitesine karşılık çizilen grafikten hesaplanmıştır.

$$\%ABTS \text{ radikali yakalama aktivitesi} = \frac{\text{Kontrolün absorbans değeri} - \text{Örneğin absorbans değeri}}{\text{Kontrolün absorbans değeri}} \times 100 \quad (2)$$

2.2.6. Ferrik İyonu İndirgeyici Antioksidan Potansiyeli (FRAP) Tayini

FRAP testi Benzie ve Strain (1996)' a göre yapılmıştır. FRAP reaktifi kullanımdan hemen önce 10:1:1 oranında 300 mM asetat tamponu (pH 3.6), 10 mM 2, 4, 6-tripiridil-s-triazin (TPTZ) çözeltisi ve 20 mM FeCl₃·6H₂O karıştırılarak hazırlanmıştır. 300 mM asetat tamponu, 0.31 g sodyum asetat trihidrat (C₂H₃NaO₂ 3H₂O), 1.6 ml asetik asit ile karıştırılıp son hacim 100 mL'ye gelinceye kadar saf su ile seyreltilmiştir. TPTZ çözeltisi, 40 mM HCl içerisinde 10 mM TPTZ'nin çözündürülmesiyle hazırlanmıştır. 100 µL ekstrakt, sırasıyla 900 µL H₂O ve 2 mL FRAP reaktifi ile karıştırılıp oda sıcaklığında ve karanlıkta 30 dakika inkübe edildikten sonra 593 nm'de absorbansları köre karşı ölçülmüştür. Sonuçlar, standart Troloks'un 10-100 µM (2.5-25 µg/mL) lineer aralıkta çizilen kalibrasyon grafiğinden hesaplanmış (y=0.036x-0.0116, R²=0.999) ve mg Troloks eşdeğeri (TE) / g örnek şeklinde ifade edilmiştir.

2.2.7. Bakır (II) İyonu İndirgeyici Antioksidan Kapasitesi (CUPRAC) Tayini

CUPRAC analizi Apak ve ark., (2004) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Bir test tüpüne 1 mL CuCl₂ çözeltisi (0.01 M), neokuprin (7.5 mM) ve 1 M amonyum asetat tampon (pH 7.0) çözeltisi ilave edilmiştir. Test tüpüne 0.1 mL ekstrakt eklendikten sonra, 1 mL saf su eklenmiştir. Bütün örnekler karanlıkta ve oda sıcaklığında 1 saat inkübe edilmiş ve sonrasında absorbans değerleri 450 nm'de ölçülmüştür. . Sonuçlar, standart Troloks'un 50-800 µg/mL lineer aralıkta çizilen kalibrasyon grafiğinden hesaplanmış (y=1.24x-0.056, R²=0.994) ve mg Troloks eşdeğeri (TE) / g örnek şeklinde ifade edilmiştir.

2.2.8. Fenolik Kompozisyonunun Belirlenmesi

Fenolik madde kompozisyonu, diyet dizinli dedektöre sahip yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC-DAD) ile belirlenmiştir. Standart kalibrasyon eğrileri, gallik asit, protokateşuik asit, p-hidroksibenzoik asit, kafeik asit, klorojenik asit, şiringik asit, o-kumarik

asit, m-kumarik asit, p-kumarik asit, rutin, ferulik asit, mirisetin, kuersetin, kaempferol ve krisin kullanılarak hazırlanmıştır. Örnekler ve standart çözeltiler, 0.45 µm'lik filtrelerden süzülerek viallere aktarılmış ve Shimadzu HPLC sisteminde (LC-20AD pompa, SPD20A DAD dedektör, SIL-20A HT autosampler, CTO-10ASVP kolon fırını, DGU-20A5R degazör ve CMB-20A veri iletişim modülü; Shimadzu Corp., Kyoto, Japonya) analiz edilmiştir. Seperasyon, Intersil® ODS C-18 ters fazlı kolonda (250 mm x 4.6 mm uzunluk, 5 µm partikül boyutu) 40°C'de gerçekleştirilmiştir. Mobil faz, solvent A (% 0.1 (V/V) asetik asit içeren damıtılmış su) ve solvent B (%0.1 (V / V) asetik asit ile asetonitril) den oluşmaktadır. Gradyan elüsyonu % 10 B (0'dan 2. dakikaya), % 10 ile % 30 B (2'den 27. dakikaya), % 30 ile % 90 B (27'den 50. dakikaya) ve % 90 ile % 100 B (51'den 60. dakikaya) ve 63. dakikadan sonra başlangıç koşullarına dönecek şekilde ve akış oranı 1 mL/dk olarak ayarlanmıştır. Kromatogramlar 280, 320 ve 360 nm'de kaydedilmiştir. Tanımlama ve kantitatif analiz, alıkonma zamanı ve harici standart eğrileri bazında yapılmıştır. Sonuçlar µg/ g örnek olarak ifade edilmiştir.

2.2.9. İstatistiksel Analiz

Çalışmada kullanılan ekstraktlar üç tekrarlı olarak hazırlanmış, sonuçlar ise ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Örnekler arasındaki farklılığın önemi tek yollu ANOVA analizi ile değerlendirilmiştir ve TUKEY analizi ile çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, SPSS programı (SPSS 17.0, USA) kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Toplam fenolik madde içerikleri

Çalışmada kullanılan yağı uzaklaştırıldıktan sonra kurutulan ve analize alınan tıbbi ve aromatik bitkilerin nem ve toplam fenolik madde içerikleri Tablo 1' de verilmiştir. Toplam fenolik madde açısından en yüksek miktar adaçayı (21.13 ± 2.20 mg GAE/g) ve ıhlamurda (20.42 ± 0.65 mg GAE/g) bulunmaktadır, bunun yanı sıra anason, çemen ve rezenede (3.47-3.71 mg GAE/g) ise en düşük miktarda fenolik madde belirlenmiştir. Benzer şekilde, Kamiloglu ve ark. (2014) çalışmalarında, adaçayı ve ıhlamur'un toplam fenolik madde içeriğini, çemen ve rezeneden daha yüksek bulmuşlardır. Miliuskas ve ark. (2004), farklı adaçayı türlerinin ekstraktlarında toplam fenolik madde miktarını 9.7 - 24 mg GAE/g olarak bulmuştur. Atoui ve ark. (2005) çay olarak tüketilen bitkilerin antioksidan özelliklerini inceledikleri çalışmalarında ıhlamurun toplam fenolik madde içeriğini, adaçayı ve nane'den daha yüksek bulmuşlardır. İlgili çalışmada elde edilen sonuçlar (35-61 mg GAE/g) ile bu çalışmadan elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar örnek hazırlama yöntemi, kullanılan bitkinin yetiştirilme koşulları gibi sebeplerden dolayı olabilir. Boneza & Niemeyer, 2018 tarafından yapılan çalışmada ticari olarak temin edilen farklı melisa kültürlerinin yapraklarının ekstraktlarında toplam fenolik madde içeriğinin 5.5- 26.87 mg GAE/g şeklinde değiştiği belirlenmiştir, bu çalışmada ise melisa bitkisinin toplam fenolik madde miktarı 16.89±1.02 mg GAE/g olarak ölçülmüştür. Farklı çözümlerle, hazırlanan çemen ekstraktında toplam fenolik madde içeriği metanol kullanıldığı zaman 23.23±0.39 mg/g ekstrakt; etil asetat kullanıldığında ise 106.32±0.37 mg/g ekstrakt şeklinde belirlenmiştir (Kenny ve ark., 2013). Anwar ve ark. (2009) çalışmasında Pakistan'dan temin ettiği rezene tohumunun %80 metanol ekstraktının toplam fenolik madde içeriğini 0.77±0.01 mg GAE/g bitki olarak belirlemiştir. Bir başka çalışmada 23 farklı rezene tohum ve yaprağının metanol ekstraktlarının toplam fenolik içeriğinin sırasıyla 14-262 mg tannik asit/g ve 10-201 mg tannik asit/g örnek olduğu, yaprak ve tohumda toplam fenolik madde miktarının benzer olduğu belirlenmiştir (Salami ve ark, 2016).

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Toplam Fenolik Madde İçerikleri ve Antioksidan Potansiyelleri

Örnek	Nem (%)	TF (mg GAE/g)	DPPH (EC50)	ABTS (EC50)	CUPRAC (mg Troloks/g)	FRAP (mg Troloks/g)
Adaçayı	13.05±0.48	21.13±2.20 ^f	8.10±0.65 ^{ab}	1.54±0.17 ^a	196.01± 4.86 ^h	7.34±0.33 ^h
Anason	9.57±0.80	3.51±0.48 ^a	82.13±4.26 ^f	12.08±0.79 ^d	26.12±0.73 ^a	0.66±0.06 ^a
Çemen	10.28±0.83	3.47±0.41 ^a	78.26±3.66 ^f	8.52±0.34 ^c	85.22±0.00 ^b	1.16±0.20 ^{ab}
Defne yaprağı	8.86±0.45	17.71±0.81 ^{de}	12.96±0.99 ^{bc}	1.03±0.15 ^a	153.63± 2.67 ^f	3.69±0.18 ^d
İhlamur	7.95±1.25	20.42±0.65 ^{ef}	5.93±0.53 ^a	1.05±0.03 ^a	192.18±3.20 ^h	4.82±0.38 ^{ef}
Melisa	9.98±1.15	16.89±1.02 ^d	9.76±0.46 ^{ab}	1.90±0.05 ^{ab}	168.43± 4.42 ^g	4.66±0.44 ^e
Nane	8.94±0.84	16.37±0.88 ^{cd}	8.52±0.15 ^{ab}	1.83±0.06 ^{ab}	163.74± 7.32 ^g	5.39±0.18 ^f
Sinameki	10.20±0.19	12.97±1.90 ^{bc}	45.55±0.72 ^d	2.77±0.02 ^b	119.37± 3.43 ^d	1.87±0.16 ^b
Reyhan	11.50±0.24	9.93±1.35 ^b	18.52±0.10 ^c	2.73±0.17 ^b	140.96±1.16 ^e	2.95±0.31 ^c
Rezene yaprağı	9.24±1.33	3.77±0.54 ^a	54.31±2.88 ^e	7.78±0.70 ^c	105.16±2.40 ^c	1.61±0.07 ^b

Sonuçlar g kuru örnek şeklinde ifade edilmiştir, a-h satırlar arası farklılıkları gösterir (p<0.05). TF: Toplam fenolik madde; GAE: gallik asit eşdeğeri; EC50: mg örnek/mL

3.2. Antioksidan aktivitesi analizi sonuçları

EC50 değeri, radikal (DPPH ve ABTS) konsantrasyonunu %50 inhibe eden ekstrakt miktarı şeklinde ifade edilir, yani bu değer düşük olması, o bitkinin sahip olduğu antioksidan aktivitenin yüksek olduğunu göstermektedir. Toplam fenolik madde miktarı ve DPPH ve ABTS antioksidan aktivitesi tayini arasındaki korelasyon katsayısı (R²) sırasıyla -0.894 ve -0.892' dir. Toplam fenolik madde içeriğine benzer şekilde, ıhlamur ve adaçayının radikal yakalama kapasiteleri en yüksek; anason, çemen ve rezenenin ise en düşük olarak belirlenmiştir. Yapılan bir başka çalışmada da adaçayı, ıhlamur ve nane arasında DPPH antioksidan aktivitesinin en yüksek ıhlamur ve adaçayına ait olduğu belirlenmiştir (Atoui ve ark., 2005). Kamiloglu ve ark. (2014) ise DPPH açısından nane ve adaçayının aktivitesini ıhlamurdan daha yüksek bulmuşlardır, bu çalışmaya benzer şekilde en düşük aktivite ise çemen ve rezenede belirlenmiştir. ABTS aktivitesi açısından, adaçayı, ıhlamur, melisa ve nane en yüksek değerlere sahip olup, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli

olmamıştır. FRAP yöntemi, pH=3.6'da antioksidan özellik gösteren maddenin sarı Fe³⁺- TPTZ kompleksini mavi Fe²⁺-TPTZ'ye düşürme kapasitesini ölçer. CUPRAC yöntemi neokuprin varlığında antioksidanların etkisiyle (indirgeyici ajanlar) Cu (II)'nun Cu (I)'ya indirgenmesine dayanmaktadır ve pH 7'de gerçekleşmektedir. Toplam fenolik madde içeriği ile FRAP ve CUPRAC analizleri arasındaki korelasyon (R²) ise sırasıyla 0.876 ve 0.892 olarak hesaplanmıştır. Radikal yakalama aktivitesine benzer şekilde, FRAP ve CUPRAC açısından en yüksek aktivite adaçayı, ihlamur, melisa ve nanede; en düşük aktivite ise anason, çemen ve rezenede gözlenmiştir.

3.3. Fenolik Madde Kompozisyonu

Çalışmada kullanılan tıbbi ve aromatik bitkilerde, fenolik asitlerden protokateşuik asit, klorojenik asit, kafeik asit, ferulik asit ve flavonoidlerden kuersetin, kaempferol ve rutin en sıklıkla belirlenen bileşikler olmuştur (Tablo 2). Bu anlamda sonuçlar literatürde mevcut çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Anason yağı ekstraksiyonu sonrası kalan posada fenolik maddelerin analizinin gerçekleştirildiği bir çalışmada, sonuçlarımıza benzer şekilde gallik asit, protokateşuik asit, kafeik asit ve ferulik asit varlığı belirlenmiştir (Khaled ve ark., 2017). Adaçayının antioksidan aktivitesinin temel olarak içerdiği karnosik asit, karnosol ve rosmarinik asitten kaynaklandığı bilinmektedir. Çalışmada belirlenen diğer fenolik maddelerden, şiringik asit, p-kumarik asit, kafeik asit, kuersetin ve kaempferol Generalic ve ark. (2012)'nin yaptığı çalışma ile benzerlik göstermektedir. Kenny ve ark. (2013) çalışmalarında çemen otunda, gallik asit, protokateşuik asit, klorojenik asit, kafeik asit, p-kumarik asit, mirisetin, kuersetin ve yüksek miktarda m-kumarik asit tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da benzer fenolik maddeler tespit edilirken m-kumarik asit tespit edilmeyip şiringik asit varlığı belirlenmiştir. Defne yaprağında tespit edilen temel fenolik maddelerden protokateşuik asit, şiringik asit ve kafeik asit Vallverdú-Queralt ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada da tespit edilmiştir, ayrıca bu çalışmada kirisin ve kaempferol varlığı da analizlenmiştir. Melisa bitkisinde en fazla bulunan fenolik asitin rosmarinik asit olduğu ve ayrıca kafeik asit, p-kumarik asit, protokateşuik ve kaftarik asit varlığı bildirilmiştir (Boneza & Niemeyer, 2018). Bu çalışmada melisa için bu fenolik asitlere ilaveten klorojenik asit ve flavonoidlerden kuersetin ve kaempferol de tespit edilmiştir. Nane örnekleri ile gerçekleştirilen bir başka çalışmada bitkideki başlıca fenolik maddelerin rosmarinik asit, neoponsirin ve klorojenik asit, kafeik asit, apigenin, hesperetin ve naringenin olduğu belirtilmiştir (Tang ve ark., 2016). Bir başka çalışmada ise, nanenin su infüzyonu ve etanol ekstraktlarında, rutin, o-kumarik, şiringik asit ve sinapik asit de ilave olarak belirlenmiştir (Bahadori ve ark., 2018). Bu çalışmada fenolik asitlere ilaveten, ayrıca flavonoidlerden mirisetin, kuersetin ve kaempferol de tespit edilmiş olup, Patonay ve ark. (2017) özellikle Orta Avrupa kaynaklı nane bitkisinde değişen miktarlarda flavonoidlerin varlığının gözlemlendiğini belirtmiştir.

Tablo 3. Çalışmada Kullanılan Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Fenolik Madde Kompozisyonu

Fenolik	Anason	Adaçayı	Çemen	Defne	Ihlamur	Melisa	Nane	Reyhan	Rezene	Sinameki
Gallik asit	5.86±0.13	-	5.99±0.04	-	3.85±0.39	-	-	5.73±0.03	3.98±1.80	5.86±0.13
Protokateşuik asit	4.92±1.80	4.15±1.21	1.73±0.18	7.62±1.0	8.59±1.02	7.82±0.36	1.87±0.20	2.30±1.01	5.10±1.40	4.92±1.80
Kateşin	1.11±0.14	-	-	1.53±1.0	5.61±1.47	-	-	-	-	1.11±0.14
Klorojenik asit	-	7.51±3.14	1.92±0.47	-	-	5.63±0.03	2.45±0.84	1.13±0.35	17.73±1.7	-
p-Hidroksibenzoik asit	-	-	-	2.09±1.04	2.90±0.55	-	-	-	1.95±0.79	-
Şiringik asit	65.89±3.3	-	20.02±1.3	9.76±2.3	1.33±0.20	-	-	-	-	-
m-kumarik asit	-	8.98±4.71	-	-	-	0.87±0.04	-	-	-	-
o-Kumarik asit	-	-	-	-	-	-	38.82±6.5	11.46±0.91	-	-
Kirisin	22.08±1.7	-	-	14.56±3.1	-	-	4.82±1.15	-	-	-
Kafeik asit	15.47±8.0	4.77±0.22	1.98±0.13	3.62±0.5	0.90±0.32	3.88±0.29	4.70±0.25	5.97±2.11	3.03±1.25	15.47±8.0
p-Kumarik asit	-	3.49±1.00	5.98±2.67	1.62±0.3	-	1.69±0.11	-	-	2.30±0.54	-
Rutin	22.41±7.7	18.08±5.02	-	-	2.16±0.73	-	2.33±0.63	15.80±5.35	-	22.41±7.7
Ferulik asit	8.11±4.39	1.04±0.43	0.78±0.53	1.00±0.5	-	-	1.54±0.60	1.64±0.47	1.87±0.72	4.98±0.03
Mirisetin	32.40±2.3	-	24.19±4.8	-	-	-	27.50±0.0	27.71±0.51	-	-
Kuersetin	13.69±0.5	6.00±4.01	13.43±0.5	-	1.52±0.21	8.55±2.09	10.56±4.6	14.84±3.07	1.71±0.48	13.69±0.5
Kaempferol	8.93±2.20	2.98±1.41	-	5.05±0.1	-	3.46±0.69	12.26±1.5	5.15±0.31	-	8.93±2.20

4. Sonuç

Çalışmada kullanılan tıbbi ve aromatik bitkilerin radikal yakalama ve metal iyon indirgeme potansiyeli açısından antioksidan potansiyelleri değerlendirilmiş ve en yüksek değerlerin ıhlamur, adaçayı, defne yaprağı, melisa ve naneye ait olduğu; en düşük değerlerin ise anason, çemen ve rezeneyle ait olduğu görülmüştür. Toplam fenolik madde içeriği ile her bir antioksidan aktivite tayini arasında yüksek derecede korelasyon ($R^2=0.87-0.89$) gözlenmiştir. Çalışmada belirlenen fenolik madde içeriği açısından, en sık belirlenen fenolik asitler protokateşuik asit, kafeik asit, klorojenik asit, ferulik asit ve flavonoidlerden ise kuersetin ve kaempferol olmuştur. Her ne kadar bu bitkiler geleneksel günlük beslenmemizde kütlece az yer tutsa da, sahip oldukları biyoaktif bileşikler dolayısıyla bu bitkiler fonksiyonel gıda uygulamalarında veya doğal antioksidan olarak kullanımı açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Kaynakça

- Acıbuca, V., & Budak, D. (2018). Dünya ' da ve Türkiye ' de Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Yeri ve Önemi. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(1), 37–44.
- Albayrak, S., Aksoy, A., Sagdic, O., & Albayrak, S. (2012). Antioxidant and antimicrobial activities of different extracts of some medicinal herbs consumed as tea and spices in Turkey. *Journal of Food Biochemistry*, 36, 547-554. doi: 10.1111/j.1745-4514.2011.00568.x.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel Total Antioxidant Capacity Index for Dietary Polyphenols and Vitamins C and E, Using Their Cupric Ion Reducing Capability in the Presence of Neocuproine: CUPRAC Method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970–7981. <https://doi.org/10.1021/jf048741x>
- Atoui, A. K., Mansouri, A., Boskou, G., & Kefalas, P. (2005). Tea and herbal infusions : Their antioxidant activity and phenolic profile. *Food Chemistry*, 89, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.075>
- Bahadori, M. B., Zengin, G., Bahadori, S., & Dinparast, L. (2018). Phenolic composition and functional properties of wild mint (*Mentha longifolia* var . *calliantha* (Stapf) Briq .). *International Journal of Food Properties*, 21(1), 183–193. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1440238>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Boneza, M. M., & Niemeyer, E. D. (2018). Cultivar affects the phenolic composition and antioxidant properties of commercially available lemon balm (*Melissa officinalis* L.) varieties. *Industrial Crops & Products*, 112, 783–789. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.003>
- Anwar, F., Ali, M., Hussain, A.I., & Shahid, M. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) seeds from Pakistan. *Flavour and Fragrance Journal*, 24, 170–176. <https://doi.org/10.1002/ffj.1929>
- Generalic, I., Skroza, D., Surjak, J., Mozina, S. S., Ljubenkov, I., Katalinic, A., Simat, V., & Katalinic, V. (2012). Seasonal Variations of Phenolic Compounds and Biological Properties in Sage (*Salvia officinalis* L.). *Chemistry & Biodiversity*, 9, 441–457. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201100219>
- Hasler, C. M. (2002). Functional Foods: Benefits, Concerns and Challenges—A Position Paper from the American Council on Science and Health. *The Journal of Nutrition*, 132(12), 3772–3781. <https://doi.org/10.1093/jn/132.12.3772>
- Kamiloglu, S., Capanoglu, E., Yilmaz, O., Duran, A. F., & Boyacioglu, D. (2014). Investigating the antioxidant potential of Turkish herbs and spices. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 6(2), 151–158.
- Kenny, O., Smyth, T. J., Hewage, C. M., & Brunton, N. P. (2013). Antioxidant properties and quantitative UPLC-MS analysis of phenolic compounds from extracts of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds and bitter melon (*Momordica charantia*) fruit. *Food Chemistry*, 141(4), 4295–4302. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.016>
- Khaled, M., Ahmed, Z., Abdel-khalek, H. H., & Mostafa, Y. (2017). Journal of Radiation Research and Applied Sciences Evaluation of antibacterial efficacy of anise wastes against some multidrug resistant bacterial isolates. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(1), 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2016.11.002>
- Miliauskas, G., Venskutonis, P. R., & Van Beek, T.A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry*, 85, 231–237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.007>
- Patch, C. S., Sullivan, D. R., & Fenech, M. (2006). Health benefits of herbs and spices: Cardiovascular disease. *The Medical Journal of Australia*, 185(4), S7-9.
- Patonay, K., Korózs, M., Murányi, Z., & Kónya, E. P. (2017). Polyphenols in northern Hungarian *Mentha longifolia* (L.) L . treated with ultrasonic extraction for potential oenological uses. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(3), 208–217. <https://doi.org/10.3906/tar-1701-61>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Salami, M., Rahimmalek, M., & Ehtemam, M. H. (2016). Inhibitory effect of different fennel (*Foeniculum vulgare*) samples and their phenolic compounds on formation of advanced glycation products and comparison of antimicrobial and antioxidant activities. *Food Chemistry*, 213, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.070>
- Sindhi, V., Gupta, V., Sharma, K., Bhatnagar, S., Kumari, R., & Dhaka, N. (2013). Potential applications of antioxidants – A review. *Journal of Pharmacy Research*, 7(9), 828–835. <https://doi.org/10.1016/j.jopr.2013.10.001>
- Singh, R. P., Chidambara Murthy, K. N., & Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 81–86.

<https://doi.org/10.1021/jf010865b>

- Singleton, V. L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Tang, K. S. C., Konczak, I., & Zhao, J. (2016). Identification and quantification of phenolics in Australian native mint (*Mentha australis* R. Br.). *Food Chemistry*, 192, 698–705. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.032>
- Vallverdú-Queralt, A., Regueiro, J., Martínez-Huélamo, M., Fernando, J., Alvarenga, R., Leal, L.N., & Lamuela-Raventos, R.M. (2014). A comprehensive study on the phenolic profile of widely used culinary herbs and spices : Rosemary , thyme , oregano , cinnamon , cumin and bay. *Food Chemistry*, 154, 299–307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.106>



User-level Performance Evaluation of VoIP under Different Background TCP Traffic Conditions in ns-2

Fatih Abut^{1*}

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Adana, Turkey
(ORCID: 0000-0001-5876-4116)

(First received 2 July 2019 and in final form 17 July 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.585736)

REFERENCE: Abut, F. (2019). User-level Performance Evaluation of VoIP under Different Background TCP Traffic Conditions in ns-2. *European Journal of Science and Technology*, (16), 638-645.

Abstract

Voice over IP (VoIP) is gaining more and more importance and displaces the traditional telephony. For example, more than 300 million monthly active users worldwide use the popular VoIP application "Skype". However, a big problem in the VoIP environment is the voice quality. The purpose of this study is to investigate the effects of background TCP traffic on perceived voice quality of a VoIP conversation at the user-level using the G.711 codec. Two different playout buffering policies including static buffering and optimal buffering have been applied by the VoIP server. For comparison purposes, the same experiments have also been repeated when no playout buffering policy has been used by the VoIP server. A three-hop network topology consisting of a source, a transit, and a destination subnetwork was simulated whereas the end-to-end capacity of the entire network was limited by a 1.5 Mbps Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) link. Multiple simultaneous TCP connections with different segment sizes were established to simulate the various conditions of background traffic. By using the ns2voip framework, an enhancement to the popular Network Simulator 2 (ns-2), extensive simulation experiments for analyzing the VoIP user-level performance have been carried out and the voice quality has been evaluated by calculating the Mean Opinion Score (MOS). The results show that the voice quality is strongly negatively affected by background TCP traffic, even in the presence of a single TCP flow with 1500 Byte segments. Also, the size of background TCP segments significantly influences the achievable MOSs of VoIP conversations. However, it has also been observed that aggregating multiple speech frames into a single IP packet can increase the MOS. Particularly, depending on the number and segment size of background TCP flows, aggregation of the optimal number of speech frames into the same IP packet improves the MOSs up to 14.61% over a 1.5 Mbps ADSL link.

Keywords: Simulation, ns-2, VoIP, TCP, E-model, Mean Opinion Score.

Ns-2'de Farklı Arka Plan TCP Trafik Koşulları Altında VoIP'nin Kullanıcı Düzeyinde Performans Değerlendirmesi

Öz

IP üzerinden ses (Voice over IP; VoIP), giderek daha fazla önem kazanmakta ve geleneksel telefonun yerini almaktadır. Örneğin, dünya genelinde aylık 300 milyondan fazla aktif kullanıcı, popüler VoIP uygulaması Skype'ı kullanmaktadır. Ancak, VoIP ortamında ses kalitesi büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu çalışmanın amacı, arka plan TCP trafiğinin kullanıcı düzeyinde bir VoIP konuşmasının algılanan ses kalitesi üzerindeki etkilerini G.711 kodeğini kullanarak incelemektir. VoIP sunucusu tarafından statik ve optimal olmak üzere iki farklı tamponlama politikası uygulanmıştır. Karşılaştırma amacıyla, VoIP sunucusu tarafından herhangi bir tamponlama politikası uygulanmadığında da aynı deneyler tekrarlanmıştır. Kaynak, transit ve hedef alt ağlarından oluşan üç sekmeli bir ağ topolojisi

* Corresponding Author: Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Adana, Turkey, ORCID: 0000-0001-5876-4116, fabut@atu.edu.tr

simüle edilirken, tüm ağın uçtan uca kapasitesi 1.5 Mbps Asimetrik Dijital Abone Hattı (ADSL) bağlantısı ile sınırlandırılmıştır. Arka plan trafiğinin değişken koşullarını simüle etmek için farklı segment boyutlarında birden fazla eşzamanlı TCP bağlantısı kurulmuştur. Popüler Network Simulator 2 (ns-2) programına eklenen bir geliştirme olan ns2voip framework'ü kullanılarak VoIP kullanıcı seviyesi performansını analiz etmek için kapsamlı simülasyon deneyleri yapılmıştır ve ses kalitesi Ortalama Görüş Puanı (OGP) hesaplanarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, ses kalitesinin 1500 Bayt segmentli tek bir TCP akışında bile arka plan TCP trafiğinden güçlü bir şekilde olumsuz etkilendiğini göstermektedir. Ayrıca, arka plan TCP trafiğinin boyutu, VoIP konuşmalarının ulaşılabilir OGS'lerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bununla birlikte, birden fazla konuşma çerçevelerinin tek bir IP paketi içerisine toplanmasının OGS'yi artırabileceği de gözlenmiştir. Özellikle, arka plan TCP akışlarının sayısına ve segment boyutuna bağlı olarak, en uygun sayıdaki ses çerçevelerinin aynı IP paketinde toplanması, OGS'leri 1.5 Mbps ADSL bağlantısı üzerinden %14.61'e kadar iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon, ns-2, VoIP, TCP, E-model, Ortalama Görüş Puanı.

1. Introduction

VoIP (Voice over IP) is a modern service with high growth rates. For example, more than 300 million monthly active users worldwide use the popular VoIP application "Skype" (Microsoft, 2016). The basis of a VoIP network is optimal voice quality, low delays, and high reliability. Ensuring these key points requires a thorough analysis and performance test of the underlying network. It is important to use a simulation of network quality assessment before installing VoIP. This pre-measurement may reveal whether an existing network is VoIP-capable. In addition, the VoIP simulation will shed light on which factors influence the voice quality and how it can be optimized.

While in classical network applications the data related parameters such as throughput, packet delays, and losses are evaluated; in the VoIP environment, the voice quality subjectively perceived by a participant is of significant interest. Therefore, a human-judged assessment is needed that indicates how well a person feels the quality of a spoken language. For this reason, the ITU-T developed the so-called Mean Opinion Score (MOS), which determines the voice quality subjectively perceived by the communication participants. MOS can be in a range of 1 (i.e. poor) to 5 (i.e. excellent).

When determining the MOS of VoIP conversations, test persons are given speech samples who evaluate them subjectively. The average of the opinion of all subjects gives the MOS. For a meaningful and reliable measurement of the MOS, the entire acoustic environmental impact, such as the noise and echoes should be included. For such VoIP analyzes special measurement equipment and speech generators, as well as highly sensitive noise sensors on the transmitting and receiving sides are needed. Since such dedicated MOS measurements are quite expensive, the MOS is usually calculated using the so-called E-Model. In contrast to MOS, the speech quality in the E-model is calculated objectively considering all factors affecting the transmission quality, such as delays, packet losses, and jitter. The objective result calculated by the E-model, called the R-factor, can then be mapped to the MOS scale.

Several studies on evaluating the VoIP performance have been conducted in the related literature (Ahmed, 2017; Alharbi, Bahnasse, & Talea, 2017; Audah, Kamal, Abdullah, Hamzah, & Razak, 2015; Cao & Gregory, 2008; Chaudhary & Singh, 2014; Birke, Mellia, Petracca, & Rossi, 2007; Brak, Bouhorma, El Brak, & Bohdhir, 2013; Gurrupu, Mehta, & Panbude, 2016; Li, Chiang, Calderbank, & Diggavi, 2007; Meeran, Annus, & Le Moullec, 2017; Balan, Eggert, Niccolini, & Brunner, 2007; Haibeh, Hakem, & Safia, 2017; Perwej & Parwej, 2012; Tariq, Azad, Beuran, & Shinoda, 2013). Particularly, the studies in (Ahmed, 2017; Alharbi et al., 2017; Audah et al., 2015; Cao & Gregory, 2008; Chaudhary & Singh, 2014) focused on evaluating the performance of VoIP at the IP level, assessing objective parameters such as delays, jitter and packet losses, rather than evaluating the performance of VoIP at user-level which takes into account the user perception, i.e. the MOS. On the other hand, the studies in (Birke et al., 2007; Brak et al., 2013; Gurrupu et al., 2016; Li et al., 2007; Meeran et al., 2017) disregarded receiver's playout buffers which come as part of a VoIP application, and also plays a crucial role. Neglecting the playout buffer is an unrealistic assumption that can cause the voice quality to be significantly overestimated. This is caused by the fact that packets that are successfully delivered within a given deadline at the IP level can also be delayed or dropped at the playout buffer (Bacioccola, Cicconetti, & Stea, 2007). Finally, the studies in (Balan et al., 2007; Haibeh et al., 2017; Perwej & Parwej, 2012; Tariq et al., 2013) take playout buffers into account and use MOS as a metric, but they assess the performance of various playout buffers and codecs, and do not consider the effect of background TCP traffic on voice quality. TCP introduces several factors such as bi-directional data exchange, congestion control and retransmission mechanisms that can strongly interfere with VoIP's performance. Furthermore, all mentioned studies evaluated the traditional case of sending a single speech frame per IP packet, disregarding the aggregation of multiple speech frames into the same IP packet. Thus, it is also to be investigated to which extent an improvement in the MOS for the considered simulation scenario can be achieved by aggregating multiple speech frames into the same IP packet.

The purpose of this study is to investigate the effects of background TCP traffic on perceived voice quality of a simulated VoIP conversation at the user-level using the G.711 codec. Two different playout buffering policies including static buffering and optimal buffering have been applied by the VoIP server. For comparison purposes, the same experiments have also been repeated when no playout buffering policy has been applied by the VoIP server. Furthermore, the effect of aggregating multiple speech frames into a single IP payload on perceived voice quality has also been investigated. A three-hop network topology consisting of a source, a transit, and a destination subnetwork was simulated in Network Simulator 2 (ns-2). The end-to-end capacity of the entire network was configured with 1.5 Mbps, which is the lowest capacity provided by Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) links. A theoretical model for typical VoIP traffic generated by G.711 was introduced to simulate the conversation behavior of a VoIP user as exactly as possible. By using the ns2voip framework, an enhancement to the popular ns-2, extensive simulation experiments for analyzing the VoIP user-level performance have been carried out. The MOS has been used to evaluate the voice quality of a VoIP conversation.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 introduces the utilized model for typical VoIP traffic generated by G.711 over the TCP/IP stack. Section 3 presents the simulation scenarios and evaluation methodology. Section 4 gives the results and discussion. Finally, Section 5 concludes this paper.

2. Theoretical Model for Generating Typical VoIP Traffic

The activity of a VoIP client is typically modeled by a series of talkspurt and silence periods. The talkspurt period means that the participant speaks and thus generates speech frames. The silence period, on the other hand, indicates a pause in the conversation. To simulate the duration of ON/OFF state transitions for the talkspurt and silence periods, various distributions such as Pareto, Weibull, constant, uniform and exponential can be used.

During the ON states of a VoIP conversation, a realistic workload generator should be designed. For a realistic simulation as well as for its optimal parameterization, one must understand the exact functionality of VoIP to determine how much traffic a VoIP user typically generates. For example, the typical Internet traffic generated by a browser usually has a relatively unpredictable course, and therefore cannot be simulated exactly as in reality. The voice traffic, however, is a continuous data stream as the sampler and the quantizer always provide a speech frame at certain intervals.

To design a theoretical model for VoIP workload generator, it is necessary to understand what steps are taken to convert an analog signal to a digital one. The objective is that a VoIP terminal ultimately generates a digital signal from an analog sound signal. As input, the VoIP terminal receives a sound signal $s(t)$, which is of an analog nature, and provides at the output a signal $g(t)$, which is in binary form.

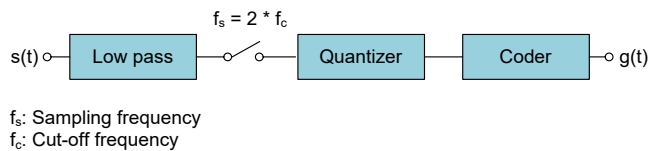


Figure 1. Conversion of an analog signal into a digital signal.

If an analog signal $s(t)$ arrives, first a band limitation takes place. Particularly, the analog signal is narrowed in its frequency spectrum, provided that it can be reconstructed as clearly as possible afterward. This band limitation is caused by an element called a low pass. This maximum band-limited signal, also referred to as the cut-off frequency f_c , is determined by speech intelligibility. The conventional telephony has a cutoff frequency of 4 kHz.

The steps to be taken to convert this band-limited signal $s(t)$ into a binary stream $g(t)$, as illustrated in Figure 1, can be outlined as follows:

- i. **Sampling:** The first step is to convert the signal from a time- and value-continuous form into a time-discrete form. For this purpose, the analog signal is sampled at twice the cutoff frequency f_c .
- ii. **Quantization:** Thereafter, the sampled signal must be quantized to convert it from the discrete-time, but value-continuous form into a time- and value-discrete form.
- iii. **Coding and compression:** The time- and value-discrete signal must finally be coded and, if necessary, compressed.

First, the sampling rate must be determined. As already mentioned, the cut-off frequency of conventional telephony is 4 kHz. This results in the sampling rate of 8 kHz. Also, a certain form of coding should be parametrized. There are quite a few coding schemes to choose from, including the A-law encoding. The A-law encoding used by G.711 generates 8 bits per sample. In the simulation, therefore, both the sampling rate and the coding rate of the data stream to be generated must be parameterized.

This results in a generated continuous data stream of net 64 Kbps. The data transfer, however, takes place packet-oriented. Therefore, the next step is to break this continuous data stream into individual packets and pass them to a specific protocol. For this process, a packetization time is to be considered. The question is under which aspects the packetization time is to be determined. On the one hand, it may be beneficial to maximize the size of a speech frame to make the most efficient use of the underlying network. On the other hand, an end-to-end delay of 150 to 300 ms must be observed. Otherwise, the voice quality will become unacceptable. In the same way, one cannot transmit a speech frame every millisecond, as this would cause considerable overhead. Typical packetization time used by G.711 is 20 ms.

Given the TCP/IP reference model, the overhead caused by the protocols should be considered, too. Particularly, 64 Kbps of raw data is delivered into the TCP/IP protocol stack. A packetization time of 20 ms at a rate of 64 Kbps means an effective packet size of 160 Byte. This packet size runs through the individual layers of the TCP/IP reference model, as shown in Figure 2. Typically, the RTP, UDP and IP protocols are used at the application, transport and network layers, respectively. The next question is how much overhead each of these protocols generates. In the case of an IP packet, it is known that the header without options is always 20 Byte. Similarly, by default, UDP has a header size of 8 Byte and the size of the RTP header is typically 12 Byte. This results in a total header size of 40 bytes. The generator, therefore, must generate a packet of size of 160 Byte + 40 Byte = 200 Byte every 20 ms, simulating the call behavior of a VoIP participant.

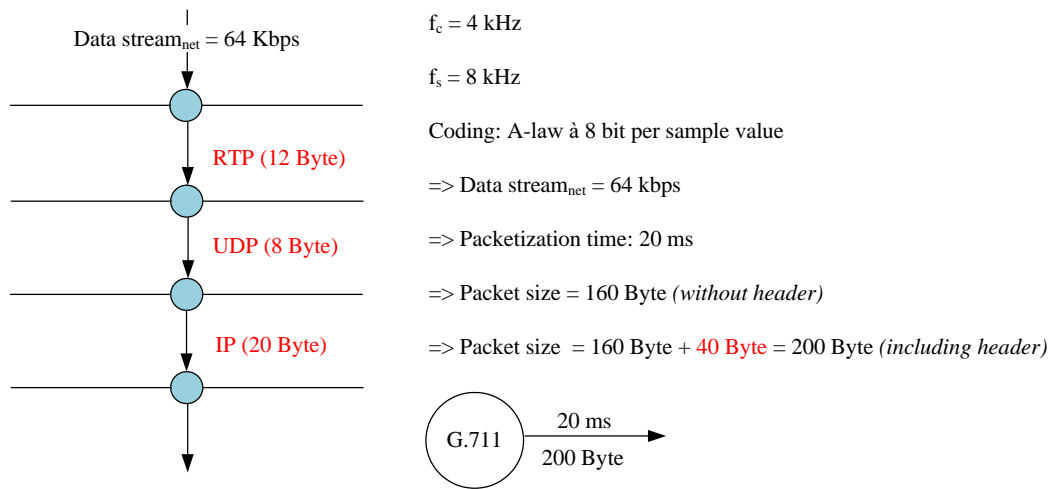


Figure 2. Additional overhead caused by TCP/IP protocol stack regarding VoIP

It is noteworthy that in contrast to other internet traffic generators, the VoIP model has the significant advantage that it is very close to the details of the real telephony and does not make any significant abstraction from reality to achieve a useful workload generator. Furthermore, the overhead of 40 Byte in relation to 160 Byte, which one would only have to transfer in the classical telephony, shows the immense overhead caused by VoIP.

3. Evaluation Methodology

Figure 3 illustrates the simulation scenario of a VoIP conversation between two participants. Particularly, the simulation setup consists of one VoIP client and one VoIP server connected through two routers, the capacities of which are set to 1.5 Mbps forming the bottleneck link of the end-to-end path. The routers were configured with DropTail queue (i.e. First-In First-Out) and the queue size was set to 20 packets. The links of the VoIP client and VoIP server were configured with 100 Mbps to avoid any queuing delays on these links. The latency of all links is set to 2 ms.

The ns2voip framework (Bacioccola et al., 2007) was used to simulate and perform user-level performance analysis of the VoIP conversations. Particularly, by using ns2voip, the client was configured to use the G.711 codec which generates 64 Kbps (160 Byte packet size) data stream according to the generation model described in Section 2. The frame aggregation and compression features of the framework are disabled, if not specified otherwise. For the simulation of the VoIP call, the "one-to-one" model is used, i.e. there is a one-to-one conversation between the client and the server. Only the VoIP traffic generated by the client is simulated, i.e. the generated VoIP traffic always flows from the client to the server and never vice versa.

Multiple simultaneous TCP connections were established to simulate the various conditions of the background TCP traffic. Particularly, four separate simulation scenarios were created. The first scenario investigates the effects of a single TCP transfer during the VoIP conversation. The other three simulation scenarios consider the concurrent establishments of 2, 3 and 4 TCP connections, respectively. Each simulation scenario was configured to produce TCP traffic with fixed segment sizes. Particularly, three segment sizes including 64 Byte, 800 Byte, and 1500 Byte were adapted from the previous VoIP work (Triyason, Kanthamanon, Warasup, Yamsaengsung, & Supattatham, 2010) which represent low, medium and high level segment sizes of TCP, respectively. All TCP nodes are operating an FTP application, and bidirectionally exchange data. With all these scenarios, it is intended to investigate the effects of the network congestion caused by concurrent TCP connections and the resulting queuing over the 1.5 Mbps link, which is the lowest capacity provided by the ADSL technology.

The VoIP server applies two different playout buffering policies, namely static and optimal playout buffering. For comparison purposes, the same experiments have also been repeated when no playout buffering policy has been applied by the VoIP server. Particularly, the no buffering option, as the name suggests, does not use any playout buffering scheme and is merely used to show to which extent the MOSs will be overestimated compared to the case where a more realistic static playout buffering policy is applied. Static buffering delays arriving frames of a selectable but fixed amount of time before passing them to the decoder. The size and the initial delay of the static buffer are set to 20 speech frames and 80 ms, respectively. Finally, the optimal playout buffer accumulates the whole set of arriving frames of a given talkspurt, and then it selects the playback delay so that the best possible voice quality is obtained. Each simulation scenario lasts a total of 600 seconds. In the first 30 seconds (i.e. during the warm-up phase) no measurement results are collected. Table 1 gives an overview of values of the utilized parameters for the simulated VoIP conversation.

The performance of simulation scenarios has been evaluated by calculating the R scores which are finally mapped to MOS by the ns2voip framework. In contrast to the subjectively determined MOS, the E-model is the objective evaluation of the voice quality. The result of the E-model is the R-factor (R: Rating). The calculation of this R-factor requires a whole series of parameters which influence

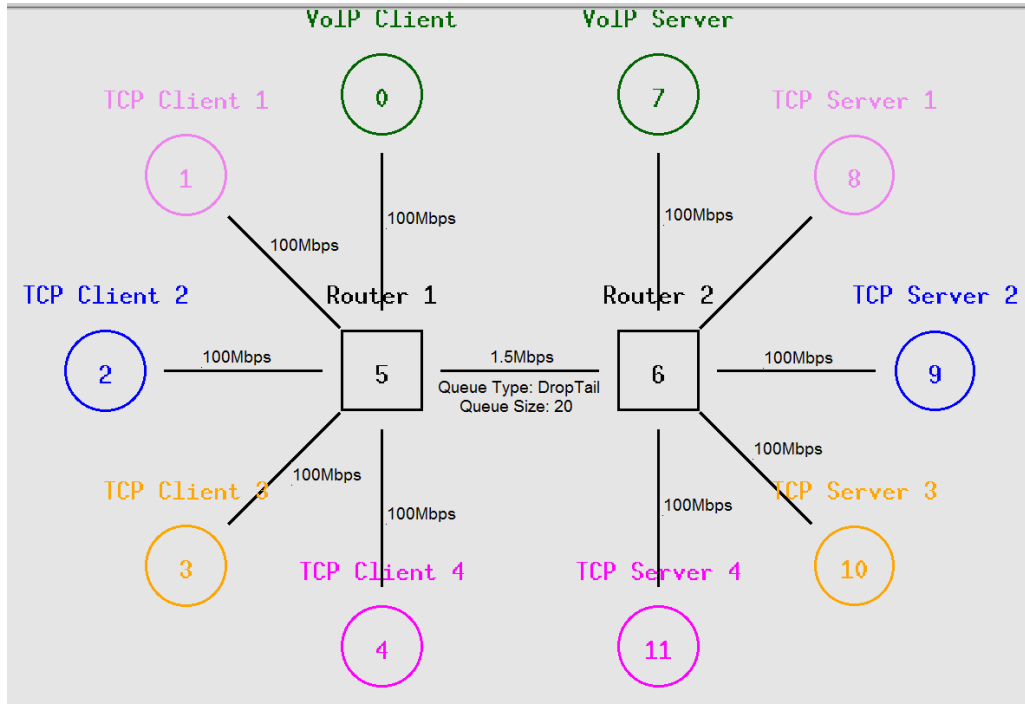


Figure 3. Ns-2 representation of the network topology and the simulated VoIP conversation between two participants

Table 1. List of values of the utilized parameters for the simulated VoIP conversation

Simulation Parameter	Value
Codec used by VoIP client	G.711
VoIP source model	One-to-one
Duration of talkspurt and silent state transitions	Random variable with constant distribution and a mean of 10 ms
Size of static buffer at VoIP server	20 speech frames
Initial delay of static buffer at VoIP server	80 ms
Simulation duration	600 s
Warm-up phase	30 s

the transmission and voice quality. These parameters include, among other things, the signal-to-noise ratio, delays, jitter, echoes and packet losses. The R-factor is calculated using the R-formula in the E-model as

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e,eff} + A , \tag{1}$$

where R_0 is the signal-to-noise ratio, I_s is the interference occurring to the speech signal, I_d indicates the sum of the delays, $I_{e,eff}$ is the noise components due to encoders and packet losses. In addition, the A factor is a purely abstract correction value. It symbolizes the influences of the used communication infrastructure on the R-factor. The effective $I_{e,eff}$ factor is calculated as follows:

$$I_{e,eff} = I_e + (95 + I_e) * \frac{P_{pl}}{\frac{P_{pl}}{P_{pl} + B_{pl}}} \tag{2}$$

In Eq. (2), I_e indicates the influence of the components used in the communication on the quality of the connection. The effective $I_{e,eff}$ value is additionally weighted by the empirical factor $(95 + I_e)$. P_{pl} is the packet loss probability and B_{pl} expresses a value indicating the robustness of the used codec to packet loss (Bacioccola et al., 2007). The default values of the above parameters for the most commonly used codecs can be found in (ITU-T Recommendation, 2001).

The objective result called the R-factor, calculated by the E-model using Eq. (1) can then be mapped to the MOS scale. Table 2 shows the relation between R-factor and MOS in coarse values. A more exact statement about the relationship requires a calculation.

Table 2. Relation between R-Factor and MOS

R-Factor	MOS	Subjective Feeling
100	5.0	Excellent
90	4.3	Very satisfied
80	4.0	Satisfied
70	3.6	Few are dissatisfied
60	3.1	Many are dissatisfied
50	2.6	Almost all are dissatisfied
0	1.0	All are dissatisfied

4. Results and Discussion

The overall simulation experiments have been conducted in four parts. In the first part of experiments, plausibility tests were conducted. To this end, no background TCP traffic was generated on the path during the VoIP conversation to simulate the ideal condition. As expected, due to the lack of any other cross-traffic, the end-to-end delay only included propagation and transmission delays, and no queueing delays. Propagation delays are 2 ms for three links (i.e. 6 ms total) and the transmission delay ranges from 0.34 ms to 8 ms which can be calculated by dividing packet length (i.e. 64 Byte, 160 Byte, 1500 Byte) to link capacity (i.e. 1.5 Mbps). Under these ideal conditions, the achieved MOSs using no, static and optimal playout buffering policies are 4.46, 4.48 and 4.48, respectively. It is noteworthy that the theoretical MOS of 5.0 cannot be achieved in practice. The lossy conversion of the analog voice signals into digital signals and vice versa reduces the maximum achievable MOS to around 4.5.

In the second part of experiments, the performance of the three playout buffering policies has been compared in terms of achieved MOS. Table 3 through Table 5 show the MOSs for different TCP-based cross-traffic scenarios using no, static and optimal playout buffering policies applied by the VoIP server. The no playout buffering policy is merely used to demonstrate to which extent the MOSs are overestimated in comparison to the case where the static playout buffering policy is applied. Similarly, the optimal playout buffering policy acts as a reliable method for determining the reference values (i.e. highest MOSs) obtainable using an ideal playout buffering policy. The results show that compared to static and optimal playout buffering policies, the overestimation errors of no playout buffering policy range from 0.91% to 17.42%, and from 0.23% and 3.37%, respectively. This result, in turn, signifies the need for the consideration of playout buffering policies in simulative performance evaluations of VoIP conversations.

Table 3. Resulted MOS values when establishing 1, 2, 3 and 4 TCP connections during VoIP conversation using no playout buffering policy

Segment Size (Byte)	Number of TCP Flows			
	1	2	3	4
64	4.43	4.27	4.18	4.05
800	4.28	3.96	3.54	3.15
1500	3.29	2.76	2.41	2.09

Table 4. Resulted MOS values when establishing 1, 2, 3 and 4 TCP connections during VoIP conversation using static playout buffering policy

Segment Size (Byte)	Number of TCP Flows			
	1	2	3	4
64	4.39	4.20	4.11	4.00
800	4.22	3.85	3.42	3.02
1500	3.13	2.49	2.10	1.78

Table 5. Resulted MOS values when establishing 1, 2, 3 and 4 TCP connections during VoIP conversation using optimal playout buffering policy

Segment Size (Byte)	Number of TCP Flows			
	1	2	3	4
64	4.42	4.26	4.16	4.08
800	4.26	3.93	3.50	3.12
1500	3.23	2.69	2.34	2.03

In the third part of experiments, the effects of the number of background TCP flows and their different segment sizes on the achieved MOSs were investigated. According to the results shown in Table 3 through Table 5, it is seen that increasing the size of TCP's segments significantly leads to a parallel decrease in the MOSs. More specifically, as the background segment size gets bigger, speech frames

suffer from longer queuing delays due to the long waiting times at buffers. When TCP segments of size 64 Byte are generated, a satisfactory user-level performance of VoIP can be experienced at least up to 4 concurrently established TCP connections without major problems, independent of whether no, static or optimal playout buffering policy is applied by the VoIP server. In the case of applying static playout buffer policy, the MOSs range from 4.00 to 4.39, whereas in the case of applying optimal playout buffering policy, the MOSs change between 4.08 and 4.42. In contrast, when TCP segments of size 800 Byte are generated, a satisfactory user-level performance of VoIP can be experienced only up to two concurrently established TCP connections for static and optimal playout buffering policies. In these cases, the applications of static and optimal playout buffering policies yield MOSs ranging from 4.22 to 3.85, and from 4.26 and 3.93, respectively. Finally, when TCP segments of size 1500 Byte are generated, the voice quality is strongly influenced even in the presence of single TCP connection, lowering the MOSs up to 1.78 and 2.03 for static and optimal playout buffering policies, respectively. The negative effects of TCP connections on voice quality are caused by the fact that during the slow start and additive increase phases, TCP sends a continually increasing number of segments in batches, filling the router's queue, and causing unacceptable longer delays and even losses of speech frames.

Table 6. Resulted MOS values when establishing 1, 2, 3 and 4 TCP connections during VoIP conversation with frame aggregation

Segment Size (Byte)	Aggregation Level	Number of TCP Flows			
		1	2	3	4
64	3	4.39	4.42	4.37	4.31
800	4	4.28	3.97	3.73	3.34
1500	8	2.89	2.48	2.14	2.04

Finally, in the fourth part of experiments, the effect of aggregating multiple speech frames into a single IP payload has been investigated. After extensive simulation experiments, it is seen that aggregating speech frames up to a certain extent entails a performance gain in increasing the MOS, as also mentioned in (Bacioccola et al., 2007). Particularly, the number of speech frames per IP payload was varied from 1 to 10, and the number (i.e. the aggregation level) leading to the highest MOS for each segment size on the considered network topology has been determined. It is observed that depending on the segment size of the TCP cross-traffic, the aggregation level leading to the highest MOS also varies. In more detail, when during the VoIP conversation TCP segments of sizes 64 Byte, 800 Byte, and 1500 Byte are generated, the optimum aggregation levels have been revealed as 3, 4 and 8, respectively. Table 6 shows the MOS values for different TCP-based cross-traffic scenarios when the aggregation level is set to 3, 4 and 8 for 64 Byte, 800 Byte and 1500 Byte segment sizes, respectively. According to these results, it is seen that the percentage increase rates in MOS obtained by using the static playout buffering policy with frame aggregation compared to the ones obtained by using the static playout buffering policy without frame aggregation for different experiment scenarios range from 1.42% to 14.61%. This result can be interpreted as follows: On one side, the aggregation of the frames on the client causes an additional delay. On the other side, all frames aggregated into a payload suffer from the same network delay, i.e. the least possible delay variation. Also, the number of frame reorderings at receiver's playout buffer is minimized when multiple speech frames are aggregated. These two points bring a gain in terms of the MOS, which offsets the additional delay on the transmitter side.

5. Conclusion

The purpose of this study was to investigate the effects of TCP background traffic on perceived voice quality of a VoIP conversation at the user-level using the G.711 codec. Two different playout buffering policies including static buffering and optimal buffering have been applied by the VoIP server. For comparison purposes, the same experiments have also been repeated when no playout buffering policy has been used by the VoIP server. First, a theoretical model for typical VoIP traffic generated by the G.711 codec was introduced to simulate the conversation behavior of a VoIP user as exactly as possible. By using the ns2voip framework, the described G.711 traffic generation model was applied, and extensive simulation experiments related to the user-level performance analysis of the simulated VoIP conversation on a three-hop network topology were conducted.

The simulation results show that the voice quality is strongly negatively affected by background TCP traffic, even in the presence of a single TCP flow with 1500 Byte segments. In case of concurrently established TCP connections, the voice quality reaches unacceptable MOSs, even with smaller background segment sizes. Also, it is observed that the size of TCP segments strongly influences the MOSs during the VoIP conversation. Particularly, increasing the segment size of the background TCP traffic leads to a parallel decrease in the MOSs. However, it has also been observed that aggregating multiple speech frames into a single IP payload can significantly increase the MOS. Depending on the number and segment size of background TCP flows, aggregation of the optimal number of speech frames into the same IP packet improves the MOSs up to 14.61% over a 1.5 Mbps ADSL link.

References

- Ahmed, A. (2017). Performance Analysis of VoIP in WiFi Campus Network. *International Journal of Computer Applications*, 174(3), 9–13. <https://doi.org/10.5120/ijca2017915339>
- Alharbi, A., Bahnasse, A., & Talea, M. (2017). A Comparison of VoIP Performance Evaluation on different environments Over VPN Multipoint Network. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 17(4), 123–128.
- Audah, L. M., Kamal, A. M., Abdullah, J., Hamzah, S. A., & Razak, M. H. S. A. (2015). Performance evaluation of voice over IP using multiple audio codec schemes. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(19), 8912–8919.
- Bacioccola, A., Cicconetti, C., & Stea, G. (2007). User-level performance evaluation of VoIP using ns-2. In *2nd International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools*. Nantes, France. <https://doi.org/10.4108/nstools.2007.2014>
- Balan, H. V., Eggert, L., Niccolini, S., & Brunner, M. (2007). An Experimental Evaluation of Voice Quality Over the Datagram Congestion Control Protocol. In *26th IEEE International Conference on Computer Communications* (pp. 2009–2017). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INFCOM.2007.233>
- Birke, R., Mellia, M., Petracca, M., & Rossi, D. (2007). Understanding VoIP from Backbone Measurements. In *IEEE International Conference on Computer Communications* (pp. 2027–2035). <https://doi.org/10.1109/INFCOM.2007.235>
- Brak, S. El, Bouhorma, M., El Brak, M., & Bohdhir, A. (2013). Speech Quality Evaluation Based Codec for VoIP Over 802.11P. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 5(2), 59–69. <https://doi.org/10.5121/ijwmn.2013.5205>
- Cao, J., & Gregory, M. (2008). Performance Evaluation of VoIP Services using Different CODECs over a UMTS Network. In *2008 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference* (pp. 67–71). <https://doi.org/10.1109/ATNAC.2008.4783297>
- Chaudhary, D. A., & Singh, D. S. P. (2014). Performance Evaluation of VoIP in MPLS network using NS-2. *International Journal of Computers & Technology*, 13(9), 4792–4798. <https://doi.org/10.24297/ijct.v13i9.2355>
- Gurrapu, S., Mehta, S., & Panbude, S. (2016). Comparative Study for Performance Analysis of VOIP Codecs Over WLAN in Nonmobility Scenarios. *International Journal of Information Technology, Modeling and Computing*, 4(3). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3389769>
- Haibeh, L. A., Hakem, N., & Safia, O. A. (2017). Performance evaluation of VoIP calls over MANET for different voice codecs. In *IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CCWC.2017.7868479>
- ITU-T Recommendation. (2001). G.113 Transmission impairments due to speech processing. Retrieved from <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.113>
- Li, Y., Chiang, M., Calderbank, A. R., & Diggavi, S. N. (2007). Optimal Rate-Reliability-Delay Tradeoff in Networks with Composite Links. In *26th IEEE International Conference on Computer Communications* (pp. 526–534). <https://doi.org/10.1109/INFCOM.2007.68>
- Meeran, M. T., Annus, P., & Le Moullec, Y. (2017). Approaches for improving VoIP QoS in WMNs. In *International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)* (pp. 22–27). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICECOS.2017.8167138>
- Microsoft. (2016). Skype has over 300 million monthly active users. Retrieved July 1, 2019, from <https://windowsreport.com/skype-number-of-users/>
- Perwej, Y., & Parwej, F. (2012). Perceptual Evaluation Of Playout Buffer Algorithm For Enhancing Perceived Quality Of Voice Transmission Over Ip Network. *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics*, 2(2), 1–19. <https://doi.org/10.5121/ijmnet.2012.2201>
- Tariq, M. I., Azad, M. A., Beuran, R., & Shinoda, Y. (2013). Performance Analysis of VoIP Codecs over BE WiMAX Network. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 345–349. <https://doi.org/10.7763/IJCEE.2013.V5.729>
- Triyason, T., Kanthamanon, P., Warasup, K., Yamsaengsung, S., & Supattatham, M. (2010). The Effect of Background Traffic Packet Size to VoIP Speech Quality (pp. 175–182). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16699-0_19



Geleneksel Türk Evi ile Geleneksel Japon Evi'nin Yapısal Açından Karşılaştırılması

Uğur Özcan^{1*}, Sena Güngör²

¹ Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0002-4478)

² Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1124-2385)

(İlk Geliş Tarihi 1 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.591305)

ATIF/REFERENCE: Özcan, U. & Güngör, S. (2019). Geleneksel Türk Evi ile Geleneksel Japon Evi'nin Yapısal Açından Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 646-661.

Öz

Tarih öncesi dönemlerden günümüze dek barınma, insanoğlunun temel yaşamsal gereksinimleri arasında yer almıştır. Toplumsal gelişim sürecinde, barınma kavramına bakış açısının değişmesi, mimari üretimde farklılıklara neden olmuş ve yeni yaşam koşullarına cevap verebilecek mekân kurgusuna sahip konutlar geliştirilmiştir. Toplumun tarihi kent kimliğinin imleyicisi olan geleneksel konut mimarisi, toplumsal yapı, kültürel değerler, sosyal eğilimler, inanç sistemleri ve tarihsel birikim ile paralel olarak biçimlenerek toplumsal, sosyal, kültürel ve tarihsel boyutlarıyla dinamik bir olgu haline gelmektedir. Farklı coğrafyalarda, farklı toplumlarda üretilen geleneksel konutlar, toplumun ortak kültürel mirasının ürünü olması, tarihi belleğini oluşturması ve yaşam felsefesini yansıtmaları bakımından önemli bir misyon üstlenmektedir. Kültürel değerlerini muhafaza etmeyi başarmış iki toplumun ideolojik tutumları, kültürel dinamikleri, sosyal eğilimleri, inanç sistemleri, ekonomik yapısı, teknolojik düzeyi ve toplumun yaşanmışlıkları ile biçimlenen, geleneksel tasarım ilkelerinin vücut bulduğu geleneksel Türk Evi ile Japon Evi yüzlerce yıldır varlığını sürdürmektedir. Bu çalışmada, iki farklı toplumda üretilen geleneksel konut mimarisinde uygulanan mimari tasarım yaklaşımları arasındaki benzerlikler ve farklılıklar karşılaştırmalı olarak incelenerek iki konut geleneğinin özgün değerini ve önemini ortaya koymak amaçlanmıştır. İki geleneksel konut mimarisi, oluşumundan uygulanan tasarım ilkelerinin ve yapısal özelliklerinin tarihsel, sosyal, kültürel ve ideolojik arka planları tahlil edilerek değerlendirilmiştir. Geleneksel Türk Evi ile Japon Evi'nin oluşumunda etkili olan coğrafi koşullar ve iklimsel özellikler ile birlikte iki toplumun geleneksel yaşamı, değerler yargıları ve kültürel dinamikleri bağlamında iki konut geleneğinin fiziksel ve işlevsel oluşumları, yapısal ve mekânsal özellikleri ile estetiksel zenginlikleri ortaya konulmuştur. Birbirinden farklı iki topluma ait geleneksel konut mimarisi arasında yapılan karşılaştırmalı analiz bulguları değerlendirildiğinde, farklı işlevleri bir arada barındıran esnek mekân kurgusu, iç mekân biçimlenişinde uygulanan detaylar bakımından iki geleneksel konut geleneği oldukça yakın benzerlikler gösterdikleri, özgün yapımların teknikleri ve yapısal özellikler, iç mekan organizasyonunda uygulanan ilkeler açısından birbirlerinden farklı nitelikler taşıdıkları anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel Konut Mimarisi, Geleneksel Türk Evi, Geleneksel Japon Evi.

The Structural Comparison of the Traditional Turkish House with the Traditional Japanese House

Abstract

From prehistoric times to the present day, dwelling has been among the basic vital needs of human beings. In the process of communal development, the change in the perspective of dwelling concept has caused differences in architectural production and

* Sorumlu Yazar: Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0002-4478, uoacan@fsm.edu.tr

houses was developed which could meet the new living conditions. The traditional dwelling architecture which is the marker of the urban identity, is shaped in parallel with the social structure, cultural values, social tendencies, belief systems and historical accumulation, becomes a dynamic phenomenon with its communal, social, cultural and historical dimensions. The traditional houses produced in different geographies and different societies undertake an important mission in terms of being the product of the common cultural heritage of the society, forming the historical memory and reflecting the philosophy of lifestyle. The traditional Turkish House and Japanese House, which is shaped by the ideological attitudes, cultural dynamics, social tendencies, belief systems, economic structure, technological level and the experience of the society, has been in existence for hundreds of years. In this study, the similarities and differences between the architectural design approaches applied in traditional dwelling architectures, which are produced in two different communities, were examined comparatively and it was aimed to reveal the original value and importance of the two dwelling traditions. Two traditional dwelling architecture have been evaluated by analyzing the historical, social, cultural and ideological backgrounds of design principles and structural features applied in their formation. The geographical conditions and climatic features with the physical and functional formations, structural and spatial features and aesthetic richness that influenced the formation of the traditional Turkish House and the Japanese House were revealed in the context of the traditional life, values judgments and cultural dynamics. When the findings of the comparative analysis between two traditional dwelling architectures are evaluated, it is understood that the two dwelling traditions show similarities in terms of the flexible spatial configuration and the interior design details and differences in terms of the principles applied in the interior organization, construction techniques and structural features.

Keywords: Traditional Dwelling Architecture, Traditional Turkish House, Traditional Japanese House.

1. Giriş

Konut ve yerleşmenin tarihi, avcılık ve toplayıcılık yapan toplumun, hava koşullarından ve olumsuz çevresel etkenlerden korunmak, yaşamlarını sürdürebilmek için sığındıkları mağara, kovuk gibi doğal barınaklar ile başlamakta, yerleşik yaşam düzenine geçilmesiyle insanın kendi çabalarıyla yapmış olduğu ilkel konutlar ile devam etmektedir. Gelişen teknolojik düzey, toplumsal gelişmenin getirdiği yeni yaşam biçimleri, işlevsel örgütlenme, değişen ihtiyaç ve isteklere bağlı olarak konut mimarisi, uzun bir gelişim ve değişim sürecinden geçmiştir.

“İnsan en eski dönemden başlayarak sığınma, barınma gereksinimi duymuş, kimi zaman bunu mağara, kaya sığınağı, kovuk gibi doğadaki hazır biçimlerle karşılamış, kimi zaman da kendisi geçici diğer çözümler üretmiştir. Bu dönem boyunca, taşlardan basit örüler, dal, kamış ya da hayvan kemiklerinden üstleri deriyle kaplı çadır-sepet türü barınaklar yapmış, kimi zaman da barınağını korunaklı duruma getirmek için toprağa çukur kazmıştır.” (Özdoğan, 1996)



Şekil 1. İlkel barınak tipleri (URL-1; URL-2)

“İlk Üretim Çağı” olarak adlandırılan Neolitik dönemde (M.Ö. 8000-5500) göçebe yaşamdan yerleşik düzene geçilmesi ve üretimin başlamasıyla birlikte kalıcı yaşam alanları kurulmaya başlanmıştır. Bu döneme tarihlenen, Konya ilinin Çumra ilçesinde yer alan Çatalhöyük yerleşmesinde (M.Ö. 7400-5200), "dikdörtgen bir ana oda ve erzak odası görevinde olan bir ya da iki yan oda kesin bir tasardır. Bitişik düzende yapılmış olan evlerin duvarları bağımsızdır. Evlere çatılardaki deliklerden el merdivenleri yoluyla girilmesi, yerleşmenin kapalı bir bütün olmasını sağlamıştır. Evlerin dış yüzeylerinin oluşturduğu kapalı yüzey savunma duvarı yerine geçiyordu, bu nedenle ayrıca özel bir savunma duvarının yapımı gerekmemiştir.” (Naumann, 2007)

Geleneksel Japon Evi, basit strüktürleri, farklı yapısal bileşenleri ve özgün iç mekân elemanları ile dinamik, zengin ve karakteristik bir mimari tasarıma sahiptir. Geleneksel Japon konut mimarisinin tarihsel gelişim süreci içinde, toplum ve geleneksel konut mimarisi bütünlüğüne dayalı historiyoğrafik kurgu, yerleşik yaşam düzenine geçildiği yerleşim alanlarında inşa edilen ilkel barınaklardan gelişmiş plan kurgusuna sahip konutlara kadar uzanan bir gelişim süreci geçirmiştir.

Uzun bir tarihsel oluşum ve gelişim sürecinden geçmiş; toplumun yaşam biçimi, kültürel değerleri ve inanç sistemleri bütününden oluşan toplumsal dinamikler ile oluşturulan geleneksel konut mimarisi, kültürel mirasın önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, geniş bir coğrafyada yayılım gösteren ve yoğun bir tarihi birikimden beslenen, kültürel zenginliğin ürünü olan geleneksel Türk Evi ile Japon Evi, farklı strüktürel özellikleri, özgün yapısal bileşenleri ve iç mekân elemanları ile dinamik, zengin ve karakteristik bir mimari tasarıma sahiptirler.

2. Geleneksel Türk Evi ve Geleneksel Japon Evi

2.1. Geleneksel Türk Evi

Geleneksel Türk Evi, “Orta Anadolu bozkırı ile Anadolu platosunu çevreleyen dağ silsileleri arasında Orta Anadolu’nun doğusundan Batı Anadolu’ya ve Balkanlar’a uzanan bü yük bir coğrafi bölgede” (Kuban, 2017) oluşmuş ve Türk ailesinin geleneksel yaşam kültürünü yansıtan ve gereksinimlerine cevap veren plan özelliklerine sahip bir konut tipidir. “Anadolu’da, hareketli göçebe kültür geleneğinin izlerini taşıyan hafif ahşap iskelet yapı tekniği ile vücuda getirilen Türk Evi, Osmanlı Devleti’nin geniş sınırları içerisinde yer alan Balkanlar, Kafkaslar, Hazar Bölgesi ve Kırım’ı kapsayan, uygun yapı malzemesinin kolayca temin edilebildiği geniş bir coğrafi alanda yaygın şekilde uygulanmıştır.” (Cansever, 2002)

Kültürel değerlere ve toplumsal özelliklere bağlı kalınarak oluşturulan geleneksel Türk Evi’nin mekân organizasyonunun biçimlenişinde, Türklerin geçmişte sürdürdükleri yaşam biçimleri ve bu dönemlerde edindikleri mimari deneyimler ile yerleştikleri bölgelerin coğrafi ve iklimsel özellikleri, geleneksel yaşam kültürleri, dini ve tinsel değerler etkili olmuştur.

Orta Asya’da göçebe yaşam sürdüren Türklerin barındıkları göçer çadırının iç mekân kurgusunda sistemleştirilen ilkeler, Anadolu’da yerleşik düzenin benimsenmesinin ardından toplumsal gelişmenin getirdiği yeni yaşam biçimi, değişen üretim biçimi, yeni ihtiyaçlar ve istekler doğrultusunda şekillenerek geleneksel Türk Evi’nin kuruluşunda uygulanmıştır. Gerçekçi bir yaklaşımla akılcı, işlevsel ve esnek çözümlerin uygulandığı mekân organizasyonu ile kurgulanan geleneksel Türk Evi, aile yapısında meydana gelebilecek değişim ihtiyacı doğrultusunda gerektiğinde evin büyümesine veya küçülmesine imkân sağlamaktadır. Konut tasarımı, içten dışa doğru gelişerek öncelikle işlev çözümlenmiş ve mekânlar insan ölçülerine göre uygun olarak düzenlenmiştir.

Geleneksel Türk Evi’nin planimetrik özellikleri ve mekânlar arasındaki ilişkiler, coğrafi koşullar, topografik ve iklimsel özellikleri kapsayan doğal-fiziksel faktörlerin yanında Türk-İslam aile yapısı, geniş aile düzeni, dini değerler ve kadının aile içindeki toplumdaki yeri gibi sosyo-kültürel faktörler ile bağlantılı olarak şekillenmektedir.

Cengiz Bektaş (2018), Türk Evi’nin oluşumunda etkili olan ilkeleri şu başlıklar altında sınıflandırmıştır:

- Yaşama, doğaya, çevre koşullarına uygunluk
- Gerçekçilik, usa uyumluluk (akılcılık)
- İçten dışa çözüm
- İç-dış uyumunu
- Tutumsallık
- Kolaylık
- Ölçülerin insan vücuduna göre oluşturulması
- İklimle uygunluk
- Gereçlerin en yakından seçilmesi
- Esneklik

Cengiz Bektaş’a göre (2018), bu ilkeler her zaman çağlarıyla çağdaş olmuşlardır. Üslup, süsleme ve moda akım değişimlerinde dahi bu ilkelerden ödün verilmemiş ve daima uygulanmıştır.

Türk ailesinin geleneksel yaşam biçimine bağlı kalınarak oluşturulan odalar, kendi içinde gündelik yaşama dair (oturma, dinlenme, yemek yeme, uyuma gibi) ihtiyaçları karşılayabilecek niteliklere sahiptir. Mekânlar arasındaki iletişimi ve etkileşimi sağlayan ve gündelik yaşamın büyük bir bölümünün geçtiği, ev halkının toplandığı ve çeşitli etkinliklerin düzenlendiği sofa ise, geleneksel Türk Evi’nin mekânsal organizasyonuna katılmaktadır. Toplumsal değerlere ve kültürel dinamiklere bağlı kalınarak mekânsal özellikleri geliştirilmiş olan geleneksel Türk Evi’nde yaşam katının mekân organizasyonunu oluşturan oda ve sofa, plan tipini belirleyici ana unsurlardır.

Geleneksel Türk Evi’nde uygulanan plan tipleri, odaların sofa ile olan ilişkisine ve sofanın konut içerisindeki konumuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Geleneksel Türk Evi plan tiplerinin sınıflandırılmasına ilişkin ilk çalışmayı ortaya koyan Sedat Hakkı Eldem, bu sınıflandırmayı yaparken plan tiplerinin geçirdiği gelişmeleri dikkate almıştır. Sofasız, dış sofalı, iç sofalı ve orta sofalı olmak üzere dört başlık altında topladığı çalışmada, en basit plan tipinden en gelişmiş plan tipine doğru uzanan bir yol izlemiştir.

Geleneksel Türk Evi’nin Yapısal Özellikleri

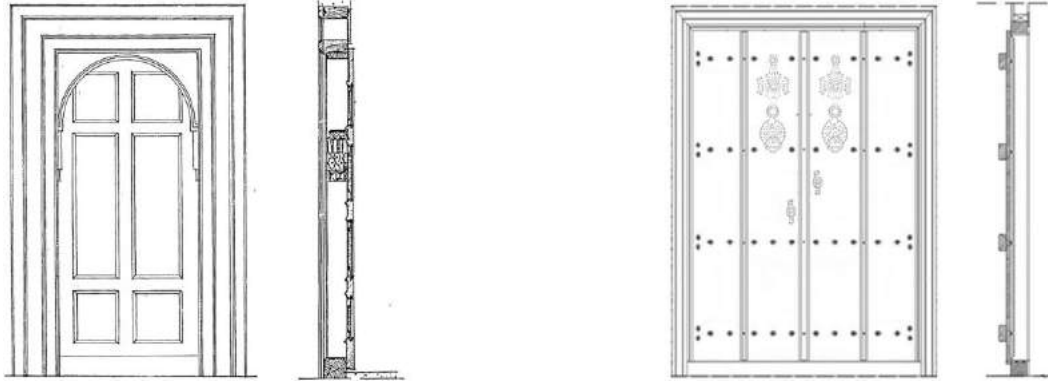
Geniş bir coğrafyada yayılım gösteren ve yoğun bir tarihi birikimden beslenen, kültürel zenginliğin ürünü olan geleneksel Türk Evi’nin yapısal elemanları, işlevlerinin ötesinde mekânın zenginleşmesini ve yapının kendine özgü kimliğinin oluşmasını sağlamaktadırlar. İslam dini gereğince, sade ve gösterişsiz bir yaşam biçimini benimseyen Türk toplumunun imleyicisi olan geleneksel Türk Evi’nin mekân kurgusunun oluşumunda yer alan yapısal elemanların biçimlenişinde yalın, net bir üslup takip edilmiş ve bu elemanlar yapıyla bütünleştirilmiştir.

“Türk Evi’nde, kapı ve pencereler, odaların iç-dış çevre ilişkilerine önemli özellikler getirmişlerdir. Kapı ve pencereler, iç düzenin kuruluşunu güçlü bir biçimde etkilemiştir. Toplumsal inanışlar ve gelenekler, evin kendi içine doğru çekilmesini gerektirmiştir. Ama yine de bazı çözümlerle dış çevreye, sokağa ve yapı dışına açılma eğilimi görülmektedir. Bu eğilim, evin çevresel örgütlenmesinin ilkeleri, giderek kapı ve pencereleri etkilemiştir.” (Küçükerman, 1985)

Geleneksel Türk Evi’nde oda kapıları, genellikle tek kanatlı, genişliği 80 cm kadar ve yüksekliği ise odanın faydalı kullanım alanının üst sınır seviyesinde oluşturulur. Oda kapılarının açılış yönü, iç mekândaki mahremiyetin korunması ve mekâna girişlerin denetlenmesi için daima oda içine doğru açılacak şekilde tasarlanır. Kapıların odaya bakan yüzeyleri özenle tezyin edilirken sofaya bakan dış yüzeyleri ise yalın bırakılır. Dikdörtgen veya kemer şeklinde ahşap veya taş söveler içine oturan dış kapılar, zemin katın masif cephe yüzeyinde girişi vurgulamakta ve konutun dış dünya ile ilişkisini sağlamaktadır. Türk toplumundaki yaşama, doğaya ve çevre koşullarına karşı sergilenen saygılı tutum göz önünde bulundurularak tasarlanan “kuzulu kapı”nın çift kanatları atlı arabalar için açılırken, bir kanadında insan için küçük, evcil hayvanlar için de küçücük bir başka kanat tasarlanır.



Resim 1. Geleneksel Türk Evi’nde oda kapısı, dış kapı ve kuzulu kapı (Kuban, 1995; URL-3; URL-4)



Şekil 2. Oda kapısı detayları (Akok, 1997)

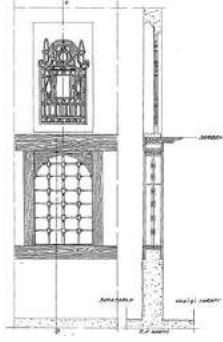
Şekil 3. Dış kapı detayları (Keskin ve Yıldırım, 2016)

Cephe düzenlemelerinde görsel bir etkisi olan kapıların üzerindeki kapı tokmakları, kapı kilitleri ve sövelerde kullanılan renkli taşlar ile konutun giriş bölümü ön plana çıkarılır. Dış kapı üzerindeki her biri farklı sesler çıkaran ve farklı motifleri olan iki kapı tokmakları, mahremiyet olgusu ön plana çıkarılarak tasarlanmış; konunun kadın ya da erkek olduğunun ayırt edilebilmesi için oluşturulmuştur.



Resim 2. Kapı tokmağı (URL-5)

Geleneksel Türk Evi'nde mekânların aydınlatılması ve dış dünya ile görsel ilişkinin sağlanması için oluşturulan pencereler, farklı biçimleri ve özellikleri ile evin cephe yüzeyinin tezyini niteliğine katkıda bulunurlar ve yapının genel görünümünde dinamik, zengin ve karakteristik bir mimari tasarım oluştururlar. "Evin, pencerelerle bir taraftan sokak ve dış dünyaya, diğer taraftan hayat ve eyvanla bahçeye açılmasına imkân veren planı, ona Türk Evi kimliğini kazandıran özel bir mimari yaklaşımdır." (Cansever, 2002)

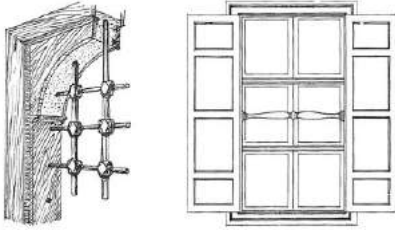


Şekil 4. Pencere detayı (Akok, 1957)

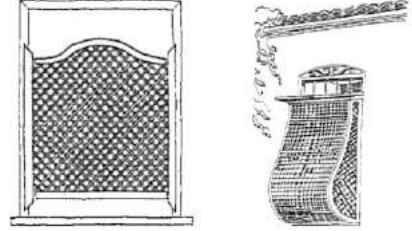


Resim 3. Geleneksel Türk Evi'nde pencere dizileri (URL-6)

Durağan bir mekân olan oda ile çevresi arasında güçlü ve dinamik ilişkiler kuran pencerelerin biçimlenişine ve kuruluşuna ilişkin bazı özellikler geliştirilmiştir. Zemin kattaki mekânların pencereleri olabildiğince küçük tutulmuştur. Üst katlardaki pencereler ise, ışık ve havalandırmadan olabildiğince fayda sağlanabilmesi ve daha iyi bir görüş alanının elde edilebilmesi için pencere duvarında çok sayıda kesintisiz açıklıklar oluşturulmuştur. Ayrıca, pencere önlerine, mahremiyetin korunmasını ve güvenliği sağlayan kafesler ve kapaklar tasarlanmıştır. Odaların ulaşılamayan ve kullanım açısından işlevi olmayan "soyutlanmış" üst örtüsünü oluşturan tavan bitkisel motifler ve geometrik formlar ile tezyin edilir. Bu üst örtüde yer alan vitraylı tepe pencereleri, mekânın aydınlatılmasına ve büyük bir özenle oluşturulan tavanın algılanması katkı sağlarlar.



Şekil 5. Geleneksel Türk Evi'nde parmaklık ve kapaklar (Akok, 1957)



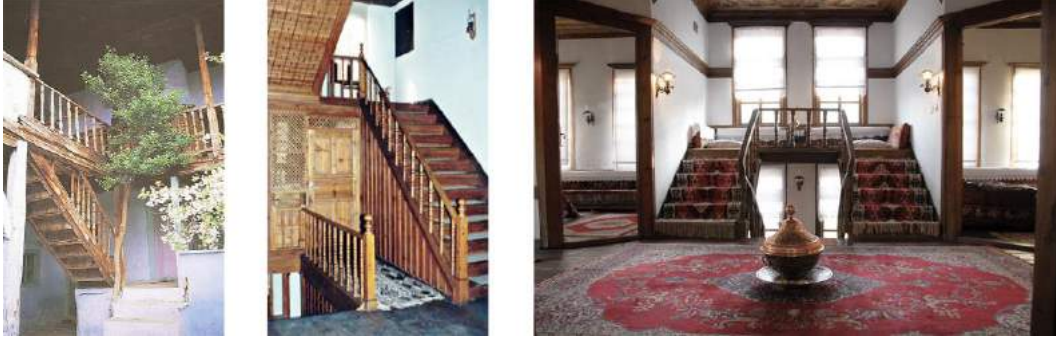
Şekil 6. Geleneksel Türk Evi'nde kafesler (Kuban, 1995)

Yüklük duvarında, yıkanmak için oluşturulan gusülhane, yatak ve yorganların depolanması, saklanması ve korunması amacıyla yapılmış dolaplar, dekoratif amaçlı nişler ile ocak duvarında mekânın ısıtılması ve yemek pişirilmesi amacıyla tasarlanan ocakların işlevsel özelliklerinin yanı sıra görülen incelikli ahşap işçilikleri odanın görsel bir ifadeye bürünmesini sağlarlar.



Şekil 7. Geleneksel Türk Evi'nde iç mekân kurgusu (Küçükerman, 1995)

Geleneksel Türk Evi'nde mekân kimliğine katkı sağlayan diğer bir yapısal eleman olan merdivenler, katları birbirlerine bağlayarak dolaşım sürekliliğini sağlayan ve tek kollu veya iki kollu gibi farklı biçimlerde olabilen mimari elemanlardır. Konutun iç mekânında, sofada ya da başka bir mekânda bulunabilen merdivenin, mekânda bulunduğu konumuna bağlı olarak plan tipi değişkenlik gösterebilmektedir. Dahası, etrafı galerilerle çevrelenip aydınlatılarak, incelikli ahşap işçilikleriyle mekânın kimliğini tanımlamaktadırlar.

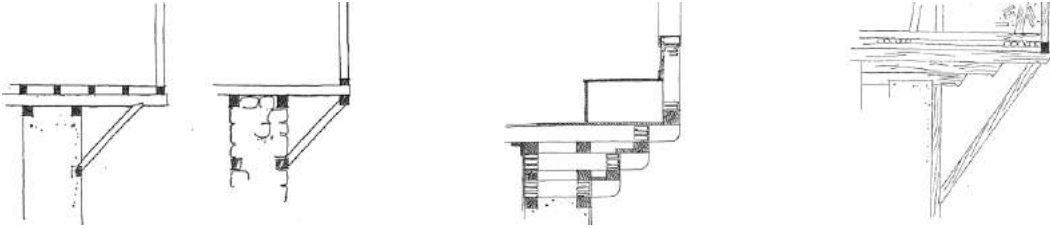


Resim 4. Geleneksel Türk Evi'nde merdiven örnekleri (Kuban 1995; URL-7; URL-8)

Çıkmalar, geleneksel Türk Evi'nin cephe görünümünü etkileyen ve konutun iç yaşamı ile dış dünya arasındaki görsel ilişkiyi kuran yapısal elemanlardır. Çıkmalar, “binaların şakuli sathlardan ve yukarı kısımlarından, dışarı doğru ve altı boşta olarak ve taşımak üzere yapılan mimari kısımlardır.” (Evren, 1959) Anadolu'nun bazı bölgelerinde “cumba” olarak anılan çıkmalar, iç mekândaki hayatın dış dünyaya açılmasını sağlayan mimari bir eleman gibi görünmesine rağmen bazı ihtiyaçlar ve zorunluluklar neticesinde meydana gelmişlerdir. Büyük kentlerde, dar ve sıkışık alanlarda üst katlardaki mekânlarda, çıkmalar ile genişletilerek yer kazanılır. Ayrıca, bu yapısal elemanlar ile yağmur ve güneşten de korunma sağlanır.



Resim 5. Geleneksel Türk Evi'nde çıkma örnekleri (Günay, 2014; Küçükerman, 1995)



Şekil 8. Geleneksel Türk Evi'nde çıkma detayları (Evren, 1959)

“Çatı binayı tamamlayan, ona mimari hususiyetini kazandıran unsurların başlıcalarındandır. Şekil bakımından bu kadar mühim olan çatının bina bünyesindeki rolü ve konstrüksiyonu da o derece mühimdir. Çatı, bütün binayı hava tesirlerinden koruyan ve içinde barınabilir bir hale getiren unsurdur.” (Kafesçioğlu, 1954) Geleneksel Türk Evi'nin karmaşık planlarına karşılık basit çatı biçimleri (beşik, kırma, birleşik çatı) oluşturulmuştur. Geleneksel Türk Evi'nin mimari bütünlüğü içinde yer alan ve cephe düzeninde görsel bir etkiye sahip olan saçaklar ile hem çatı sağlamlaştırılır, hem de duvarlar hava koşullarından korunur.



Resim 6. Geleneksel Türk Evi'nde çatılar ve saçak (Küçükerman, 1995; Kuban, 1995)

2.2. Geleneksel Japon Evi

Kültürel değerlerini muhafaza etmeyi başarmış Japon toplumunun değer yargıları, inanç sistemleri ve ideolojileri ile şekillenen mimari tasarım yaklaşımlarının uygulandığı geleneksel Japon Evi, tarihsel süreç içerisinde önemli değişim ve gelişim aşamalarından geçerek oluşmuştur.

Japon tarihinin en erken tarihsel dönemi olan ve yerleşik yaşam düzenine geçildiği, kalıcı yerleşimlerin kurulduğu, avcılık-toplayıcılığın sürdürüldüğü Jomon dönemine (M.Ö. 14.000-300) ait yerleşim alanlarında “tateana-shiki jukyo” adı verilen dairesel veya dörtgen planlı barınaklar inşa edilmiştir. Heian dönemine (M.S. 794-1185) kadar konut mimarisinde önemli değişiklikler olmayıp imparatorluğun ve aristokrasi sınıfının doruk noktasına ulaştığı, her türlü sanat dalında gelişmeler yaşanmıştır. Ulusal bir mimari üslup geliştirildiği bu dönemde, ilk geleneksel Japon stili olarak nitelendirilen aristokratların ikamet ettiği “Shinden-zukuri”, Japon mimarisinin temelini oluşturmaktadır.

Japon tarihine ait dönemlerin içinde en önemlisi olan Edo dönemi (M.S. 1603-1868), ekonomik büyümenin, sosyal düzende iyileşmelerin, yabancı politikarlardan arınmanın, kültür ve sanatta yükselişin olduğu bir dönemdir. Japon mimarisinin en parlak zamanlarının yaşandığı bu dönemin sonlarına doğru, geleneksel Japon Evi'nin tam anlamıyla oluşmaya ve gelişmeye başladığı görülmektedir. Coğrafya, topografik oluşumlar, iklim özelliklerini içine alan doğal-fiziksel faktörler ile şekillenen ve toplumun yaşam biçiminin, inançların, geleneklerin dahil edildiği sosyo-kültürel faktörlerden beslenen yerel malzeme ve geleneksel yapım tekniğine dayalı yeni bir yapı geleneği geliştirilmiştir.

“Geleneksel Japon Evi, bölgelere, tarihsel, folklorik, iklimsel, malzemeyle ilgili, ekonomik, sosyal, politik vb. etkilere göre birtakım özgün biçimlerle gelişmiştir. Fakat zaman içinde ticaretin gelişmesi ve kültürel alışverişlerin sonucunda insanların hayatlarını bir düzene uydurmaya başlamasıyla plan tipleri de giderek aynı gelişmeyi göstermiştir.” (Yamamoto, 1989) Japonya'nın kırsal kesimlerinde büyük bir yayılım gösteren ve halkın kendi çabalarıyla inşa ettiği geleneksel karakterli çiftçi evleri “minka” ile şehir kültürünün gelişmesi ve tüccar sınıfının zenginleşmesiyle gelişen kasaba evi “machiya”, geleneksel Japon konut mimarisi açısından önemli ölçüde değere sahip olan vernaküler konut tiplerindedir.

Büyükü küçükü binlerce adadan oluşan ve coğrafi konumu bakımından izole bir bölgede yer alan Japonya, yüzyıllardır süregelen zengin ve köklü kültürünü itina ile korumaktadır. Japon toplumunda önemli bir yere sahip olan konut mimarisi, Japon kültürünün ve toplumun sosyal yapısının bir yansımasıdır. Japon toplumunun zengin kültürünü yansıtmaya bakımından büyük önem taşıyan, inanç ve kültürel değerler doğrultusunda şekillenen geleneksel Japon konut mimarisi yüzlerce yıldır varlığını sürdürmektedir.

Özgün niteliklere, kültürel zenginliğe ve tarihsel derinliğe sahip olan geleneksel Japon konut mimarisini basit ve tek bir tanımlamayla yorumlanamayacağı gibi, yerel mimarinin en yaygın özelliklerini dikkate alan bazı genel tanımlamalar yapmak mümkündür. “Bu genel tanımlamalar şunları içerir:

- Kullanıcının ikamet edeceği konutu kendi eliyle inşa etmesi
- Geleneksel teknolojilerin ve yöntemlerin kullanılması
- Çevresel verilerle güçlü ilişkilerin kurulması
- Malzemenin yerel kaynaklardan seçilmesi” (Linam, 1999)

Geleneksel Japon konut mimarisinin nesnel ve fiziksel özelliklerini içeren bu genel tanımlamanın yanında geleneksel Japon Evi'nin oluşumunda ve biçimlenişinde Japon kültürü ve toplumun yaşam biçimi ile Zen felsefesi ve inanç sistemleri en önemli etkenler olmuştur. Zen felsefesinin etkisi ile durgunluk, sakinlik ve huzurun hakim olduğu mekanlar oluşturulmuş; basitlik, doğallık, yalınlık ilkelerinin göz önünde bulundurulduğu çözümler üretilerek mekan organizasyonları kurgulanmıştır.

Sanat ve kültür hayatına ruh veren Zen-Budizmi mimaride de kendini açığa vuran bir Japon felsefesi olmuştur. Japon sanatlarının gelişiminde önemli katkıları olan Zen-Budizmi'nin etkilediği sanat dallarında bazı ortak ilkelerin takip edildiği görülmektedir. Bir sanat ve kültür akımı olan Zen-Budizmi ilkelerinin başlıcaları şunlardır:

- “Yalınlık (önceki dönemlerin karmaşıklığına karşı)
- İnsancılık (önceki anıtsal-toplumsal ölçeğe karşı)
- İçtenlik (önceki gösterişçiliğe karşı)
- Doğallık (önceki yapay zorlamalara ve moda akımlara karşı)
- Yaşlılık-kusurluluk (önceki yenicilik ve yetkinlik çabalarına karşı)” (Güvenç, 2002)

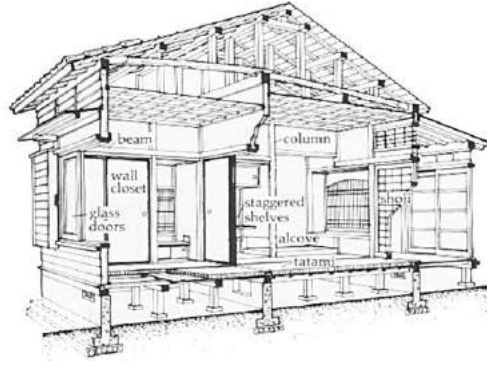
Japon toplumunun yaşamı üzerinde büyük bir etki yaratan Zen-Budizmi'nin ilkeleri, sanatın her dalında ve gündelik yaşamın her anında uygulanmıştır.

Ayrıca, geleneksel Japon konutlarında sabit bir mekân kurgusuyla karşılaşılmaktadır. Tarım ürünlerinin işlendiği, depolandığı mekânların bulunduğu, yemeğin pişirildiği ve diğer günlük işlerin yapıldığı “doma” ile oturma, dinlenme, uyuma eylemlerinin gerçekleştiği “ima” geleneksel Japon Evi'nin oluşumunda önemli ölçüde etkili olan ve her kırsal kesim konutunda daima bulunan iki değişmez unsurdur.

Geleneksel Japon Evi'nin Yapısal Özellikleri

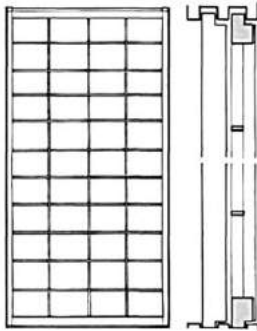
Özgün nitelikleri, kültürel zenginlikleri ve tarihsel derinliği ile diğer vernaküler mimarilerden ayrılan geleneksel Japon konut mimarisi, fiziksel ve işlevsel oluşumları, yapısal, mekânsal özellikleri ve estetiksel zenginlikleri ile ön plana çıkmaktadır. Geleneksel Japon Evi'nde uygulanan tasarım yaklaşımları yapı geleneğinin karakteristik özelliklerinin biçimlenmesinde rol oynamaktadır. Geleneksel Japon konut geleneğinin başlıca özellikleri şöyle sıralanabilir:

- “Yapının, çevre ve bahçesiyle uyuşması
- Yapının cephesinde ‘engawa’ adı verilen üstü saçakla örtülü, yanları açık bir veranda yapılması
- Giriş kapısında ‘genkan’ adı verilen bir antre bulunması
- İç bölmelerin ‘fusuma-shoji’ diye bilinen hafif ahşap bölme ve kapılarla ayrılması
- Odalarla çatı boşluğunun ahşap bir tavan bölmesiyle birbirinden ayrılması
- Odalar arasında gömme dolap ve yerli yükler yapılması
- Oturma odasında ‘tokonoma’ adı verilen bir onur ve sanat başköşesi bulunması
- Tokonoma önüne, pencereden doğal ışık alan bir aile (yemek, oturma, çay) masası konması” (Güvenç, 2002)



Şekil 9. Geleneksel Japon Evi'nin kurgusu (Yagi, 1986)

Geleneksel Japon Evi'ni oluşturan yapısal elemanlar, işlevsel özelliklerinin ötesinde mekân kurgusunun zenginleşmesinde ve mekânın özgün kimliğinin oluşmasında etkili olmaktadır. Mekânlar arasındaki erişim sürekliliğini, kullanım amacı doğrultusunda mekânların büyüüp küçültülmesini, iç mekân ile doğa arasındaki dinamik ilişkileri sağlayan hareketli bölücüler “shoji ve fusuma”, Japon konutuna özgün kimliğini kazandıran önemli birer yapı elemanlarıdır. Dikdörtgen ahşap çerçeve ve bu çerçevenin bir yönüne yapıştırılan yarı saydam kâğıttan (washi) oluşturulan shojinin üzerindeki motifler, gün içerisinde değişen güneş ışınları ile iç mekânda oluşan desenler, mekânı estetik açıdan zengin bir görünüme kavuşturur.

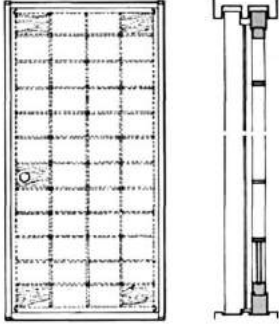


Şekil 10. Shoji detayları (Yagi, 1986)



Resim 7. Geleneksel Japon Evi'nde shoji (Locher, 2010)

“Shojiye ek olarak, genel plana esneklik kazandıran başka hareketli bölücüler de bulunmaktadır. Fusuma, zemini tatami ile kaplı odalar (washitsu) arasında bulunan ahşap bir bölme aracıdır. Zaman zaman, özel törenlerde kaldırılarak geniş bir kabul alanı oluşturulur.” (Yagi, 1986) Ahşap grid çerçeve her iki yüzünün ahşap panellerle kaplanmasıyla oluşturulan fusuma, iç-dış mekân sınırlandırılmasında kullanılır. Fusuma üzerlerine işlenen manzara veya mevsim değişimlerini yansıtan resimler ile mekânın tezyini niteliğine katkı sağlanır. Hatta Japon tarihinin erken dönemlerinde, özel törenlerin anısına davet edilen konuklar, fusumaya şiirler bırakırlardı. Fusumanın üst kısmında, iç mekân ile dış ortam veya iki oda arasında, mekânın aydınlatılması, havalandırılması amacıyla tasarlanan ve incelikli ahşap işçilikleriyle dikkat çeken “ranma” yer alır.



Şekil 11. Fusuma detayları (Yagi, 1986)

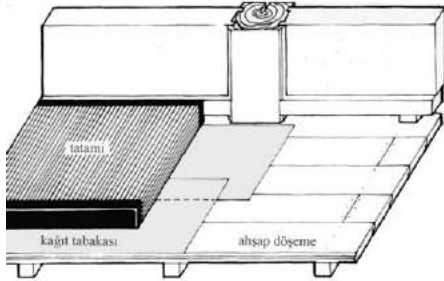


Resim 8. Geleneksel Japon Evi'nde fusuma (URL-9)

“Shoji ve fusuma adı verilen bu hareketli bölücüler ile mekânın fonksiyonu isteğe uygun olarak kolay ve hızlı bir şekilde değiştirilir. Yaz aylarında, bu bölücüler kaldırılarak havalandırma sağlanırken kış aylarında mekânın büyüklüğü azaltılarak ısı kaybı kontrol altına alınır.” (Yagi, 1986) Geleneksel Japon Evi'nde, iç mekânı, dış ortamdan ayıran bir yapısal eleman bulunmayıp Japon kültüründeki doğa ile uyum esaslı doğrultusunda yapı, shoji ve fusuma gibi hafif bölücüler aracılığıyla doğa ile bütünleştirilir. Böylece, konutla doğa arasındaki sürekliliği sağlayan shoji ve fusuma, mekânı daha esnek ve kullanışlı hale getirirler.

Shoji ve fusumanın yanı sıra, kolayca kurulabilen ve hareket ettirilebilen çeşitli portatif bölücü tipleri bulunmaktadır. İki veya daha fazla panelin bir araya getirilmesiyle oluşturulan “byobu”, bambu şeritlerinden oluşturulan katlanır perdeler “sudare” ve kendi başına, bağımsız olarak ayakta durabilen ve kolaylıkla taşınabilen “tsutate” diğer bölücü elemanlardandır.

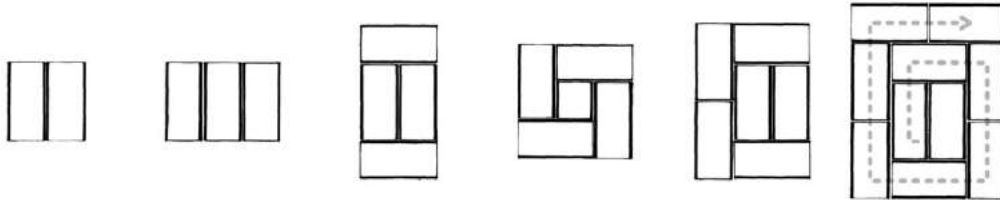
Geleneksel Japon Evi'nde iç mekân kurgusu, döşeme üzerine yerleştirilen tatami matlarının sayısı ve boyutları etkin rol oynamaktadır. Mekân planlamasında, mekânların büyüklüklerinin belirlenmesinde, tatami sayısının ölçü olarak kullanıldığı “jo” ile tataminin boyutlarının ölçü olarak kullanıldığı “tsubo” olmak üzere iki tür ölçüt kullanılır. Duvar vazifesi gören shoji ile fusumaların boyutları da tatami matlarının ölçülerine göre belirlenmektedir. “Dolayısıyla, bir mekânın tavanının yüksekliği, zemininde kullanılan tatami sayısı ile doğru orantılı olarak bulunur. Küçük odalar alçak tavanlara, büyük odalar ise taban alanına göre yüksek tavanlara sahiptir. Bu düzenleme konut tasarımında estetiğin önemli bir parçasıdır.” (Erdemir, 1993)



Şekil 12. Tatami matlarının kuruluşu (Yagi, 1986)

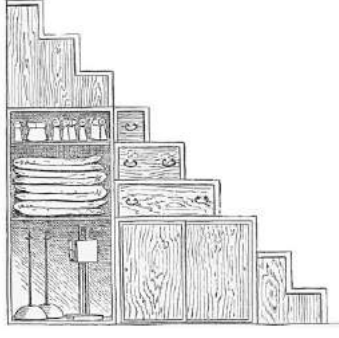


Resim 9. Geleneksel Japon Evi'nde tatami matları (Yagi, 1986)

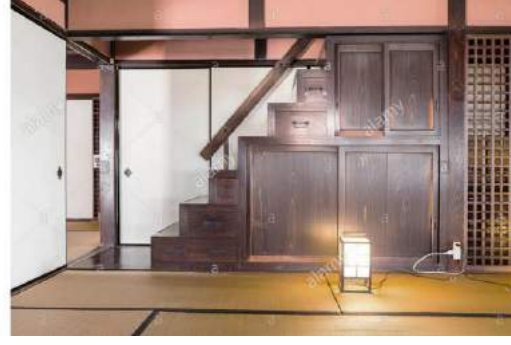


Şekil 13. Tatami matlarının bir araya getirilişinde uygulanan yöntem (Yagi, 1986)

Geleneksel Japon Evi, genellikle tek katlı olacak şekilde kurgulanmıştır. “Japonya’da köylerin, kasabaların ve şehirlerin tek katlı görünüşünü doğuran, doğayla insan arasındaki karşılıklı ilişkidir. En basit terimlerle ikinci kat yokumsanmıştır. İkinci katın yokumsanmasına bağlı olarak merdivende ve evin merdiven kesiminde mimari gerçekleşmenin tüm araçları yokumsanmıştır. Merdiven çok diktir ve böylelikle çok az bir döşeme alanı tutar. Ve yapılabildiği her yerde duvarlarla gizlenmiş veya bölmelerle çevrilmiştir. Merdivenlerin maddesel ve kaçınılmaz varlığı gizlenerek, dik yapılarak yokumsanmıştır.” (Ayverdi, 1972)



Şekil 14. Merdiven altının fonksiyonel kullanımı (Morse, 1886)



Resim 10. Geleneksel Japon Evi'nde merdiven örneği (URL-10)

Geleneksel Japon Evi'nde, iklim koşulları nedeniyle yağmur suyunun tahliyesi ve yoğun kar yükünün hafifletilmesi için genellikle kalın bir saz tabakası veya kiremitlerle örtülü dik çatılar oluşturulmuştur. Konutlarda uygulanan çatı biçimleri daima yalın tutulmuştur. Kirizuma-yane (beşik çatı), yosemune-yane (kıрма çatı) ve irimoya-yane (birleşik çatı) konutlarda en sık görülen üst örtülerdir. Cephe düzeninde estetik bakımından öneme sahip olan saçaklar, evin duvarlarını hava koşullarından, iç mekanın yağmur ve güneşten korunmasını sağlar. Köşeleri yukarı doğru kıvrımlı olan saçaklar, engawanın (teras) aşırı yağışlardan etkilenmesini önler.



kirizuma-yane



yosemune-yane

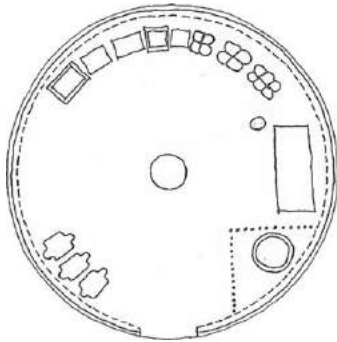


irimoya-yane

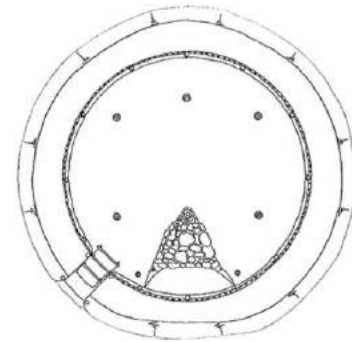
Şekil 15. Geleneksel Japon Evi'nde çatı türleri (URL-11)

3. Geleneksel Türk Evi ile Geleneksel Japon Evi'nin Yapısal Açıdan Karşılaştırılması

Farklı coğrafyalarda konuşlanmış farklı iki toplumun geçmişte sürdürdükleri yaşam biçimleri ve bu dönemlerde edindikleri mimari tecrübeler, sonraki tarihsel süreç içerisinde inşa edilen konutların mekân kurgusuna yansımıştır. Orta Asya'da göçebe yaşam sürdüren Türk toplumunun yaşama birimi olan göçer çadırı ile geleneksel Türk Evi'nin iç mekân kurgusu arasındaki ilişkinin benzeri, yerleşik yaşam düzeninin benimsendiği Jomon döneminde inşa edilen "tateana-shiki jukyo" adlı ilkel evlerin iç düzeni ile geleneksel Japon Evi mekân kurgusu arasındaki bağlantılarda görülebilmektedir.



Şekil 16. Göçer çadırı (Küçükerman, 1995)



Şekil 17. Tateana-shiki jukyo (URL-12)

Konut formunun oluşumunda, coğrafya, topografik oluşumlar, iklim özellikleri, yapım tekniği, malzeme gibi faktörlerin önemli ölçüde etkisi bulunmaktadır. Çevre koşulları ile uyum içinde olmak ve doğaya uyum sağlamak, farklı coğrafyalarda üretilen her bir vernaküler mimarinin ortak karakteristik özelliklerinden olmuştur. Birbirinden farklı iklimsel özelliklere ve değişken topografik yapıya sahip coğrafyalarda yayılım gösteren geleneksel Türk Evi ile Japon Evi'nde bölgesel verilere bağlı olarak çevre şartları karşısında üstün nitelikler gösteren yerel yapı malzemeleri ile bölgeye özgü yapım teknikleri geliştirilmiş ve farklı konstrüksiyon çözümleri üretilmiştir.

Geleneksel Türk Evi, ahşap çatkı sistemi, yatay ve düşey taşıyıcı elemanlarını destekleyen yardımcı strüktürler ve dolgu malzemeleri ile özgün nitelikli yapısal elemanları bir bütün halinde tasarlanarak kompleks bir görünüme kavuşmaktadır. Buna karşılık, geleneksel Japon Evi'nde, dikme-kiriş sistemini (torii) oluşturan yatay ve düşey taşıyıcılar ile hareketli bölücüler (shoji ve fusuma) yapının görünümüne daima hakim durumdadır. Hem Türk Evi hem de Japon Evi'nde uygulanan strüktür ve yapısal elemanlarda farklılıklar olmasına rağmen konutun yapısal nitelikleri cephe düzenlemelerini etkilemiştir. Her iki konut geleneğinin cephe görünümünde etkili olan yapısal unsurlar, planimetrik düzene de tümüyle yansımıştır.

Genellikle ahşap çatkı arası dolgu tekniği ile inşa edilen geleneksel Türk Evi'nde mekanların büyüklüğü kullanılan ahşabın boyutuna göre değişim göstermiş ve buna bağlı olarak farklı konstrüksiyon çözümleri üretilmiştir. Japonya'nın çevre koşulları karşısında üstün nitelikler gösteren yerel yapı malzemeleri ile bölgeye özgü yapım teknikleri geliştirilmiş; dikme-kiriş sisteminde kullanılan ahşap türlerinin boyutları, istenilen ölçüde açıklığa sahip mekânlar üretmeyi mümkün kılmıştır. Buna bağlı olarak, konutlarda mekânların boyutları zemin kaplamasında kullanılan tatami matlarının ölçüleri ve sayısı belirlenmiştir.



Resim 11. Geleneksel Türk Evi'nin genel görünümü (URL-13)



Resim 12. Geleneksel Japon Evi'nin genel görünümü (URL-14)

Özgün ahşap taşıyıcı strüktürüyle estetik ve zengin bir görünüme sahip olan geleneksel Türk Evi'nin duvarlarında pek çok amaca hizmet eden dolaplar, raflar, ocak ve pencere dizileri belli bir düzen içinde yerleştirilirler. Türk Evi'nde duvarlar, işlevsel özelliklerinin ötesinde mekân kurgusunda dekorasyonu tamamlayıcı unsurlardır. Tavanlarda ise, ailenin ekonomik durumuna bağlı olarak zengin özelliklere sahip detaylar oluşturulur. Türk toplumunun bağdaş kurarak oturması ve ibadetlerini zemin düzleminde yapmalarından dolayı, ahşap döşemenin üzeri halı veya kilimler ile kaplanır ve bu öğeler iç mekânın görünümünü zenginleştirir.

Geleneksel Japon Evi'nde, iç-dış mekân sınırlandırılmasını ve mekânların bölünmesini sağlayan sabit duvarlar olmayıp konut ile doğa arasındaki sürekliliği sağlayan hareketli bölücüler kullanılır. Bu hareketli bölücüler ile mekânlar daha esnek ve kullanışlı hale getirilirken, diğer taraftan da eşsiz süslemeleri ile estetik açıdan zengin mekânlar oluşturulur. Ancak, tinsel ve dinsel kaygılarla oluşturulan özelleşmiş mekânlarda (zashiki, chashitsu gibi) tokonoma, chigai-dana, tsuke-shoin gibi sembolik detaylara ayrılmış sabit duvarlar da bulunmaktadır. Japon Evi'nin özelleşmiş mekânların ve günlük yaşama ayrılan alanların üst örtüsünde, doğadan seçilen malzemelerden yapılmış tavan kaplanmaları kullanılırken doma, banyo, tuvalet gibi mekânlarda çatı strüktürü tamamen açık bırakılmıştır. Konutlarda döşeme, mekânın kullanımına uygun olarak, çalışma alanlarının zemini sıkıştırılmış topraktan yapılırken, yaşam alanlarının yükseltilmiş ahşap döşemenin üzeri tatami matları ile kaplanmaktadır.



Şekil 18. Geleneksel Türk Evi'nde oda (Küçükerman, 1995)



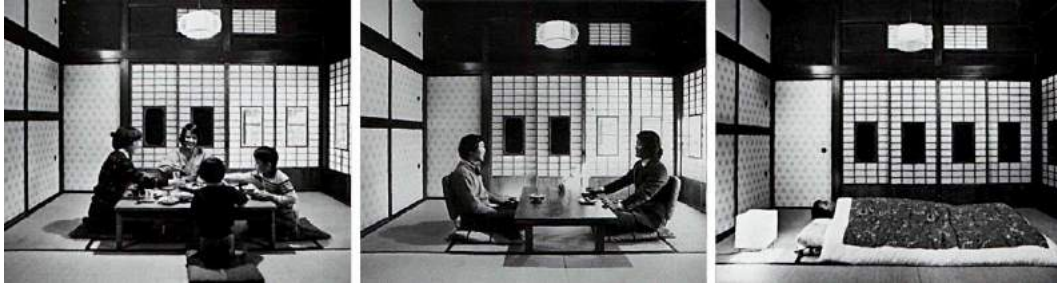
Şekil 19. Geleneksel Japon Evi'nde zashiki (Young ve Young, 2007)

İki konut tasarımının genel bütünlüğüne bakıldığında, yapım tekniklerinde bir takım farklılıklar olmasına karşın toplumların yaşam biçimi, kültürel değerleri ve inanç sistemlerinin yapı bileşenlerine yansıtılması bakımından bazı noktalarda benzer özellikler taşıdıkları görülmektedir. Her iki konut geleneğinde, tavan, duvar ve döşeme ve çatı bütününden oluşan yapısal bileşenler ile kapı, pencere ve merdiven gibi diğer yardımcı bileşenler, hem işlevsel hem de dekoratif nitelikleri ile ön plana çıkmaktadırlar.

Her iki yerel konut mimarisinde, mekânların kuruluşunda etkili olan yapısal, anlamsal ve işlevsel özellikler açısından bazı benzerlikler bulunmaktadır. Kültürel değerlere ve toplumsal özelliklere bağlı olarak oluşturulan geleneksel Türk Evi'nde yaşam katının plan şemasını oluşturan oda ve sofa, Türk ailesinin yaşam biçimine uygun olarak kurgulanmaktadır. Türk ailesinin mahremiyet esaslı yaşamına bağlı kalınarak tasarlanan odalar, kendi içinde gündelik yaşama dair ihtiyaçları (oturma, dinlenme, yemek yeme, uyuma gibi) karşılayabilecek özelliklere sahiptir. Toplumsal değerler, sosyo-kültürel yaşam ve zaruri ihtiyaçlar doğrultusunda şekillendirilerek esnek ve fonksiyonel mekân organizasyonunun ortaya konduğu geleneksel Japon Evi'nde, Türk Evi'nde olduğu gibi, aile üyelerinin toplandığı ve dinlenme, yeme-içme, uyuma gibi gereksinimlerin gerçekleştiği, ima adı verilen mekân bulunmaktadır. Bu bağlamda, her iki geleneksel konut tipi de, farklı işlevlerin bir arada gerçekleşebildiği, esnek olarak çözümlenmiş mekânsal kurguya sahip olmaları bakımından birbirleriyle benzerlik göstermektedir.



Resim 13. Geleneksel Türk Evi'nde mekânın işlevsel rolü (Günay, 1998)



Resim 14. Geleneksel Japon Evi'nde esnek mekân kullanımı (Yagi, 1986)

Konut tasarımında, mekân kurgusuna katılan yapısal elemanlar, işlevsel niteliklerinin yanı sıra mekân ifadesinin zenginleşmesinde ve yapının özgün kimliğinin oluşmasında etkili olmaktadır. Geleneksel Türk Evi'nde kapı ve pencereler, farklı biçimleri ve özellikleri ile iç mekân düzenine ve yapının cephe görünümüne dinamik, zengin ve özgün nitelikler kazandırır. Yapıyı dış dünyadan ayırarak iç mekândaki yaşamın mahremiyetini koruyan kapılar, incelikli ahşap işçilikleri ve çeşitli estetik unsurları ile yapı bütününe görsel bir ifadeye kavuşması sağlanmaktadır. İslam dinine bağlı yaşayış biçimi göz önünde bulundurularak, yalın, gösterişsiz ve korunaklı biçimde tasarlanan pencereler, mekânların aydınlatılmasında ve iç-dış ilişkilerinin kurulmasında ve geliştirilmesinde önemli etkinliğe sahiptirler. Geleneksel Japon Evi'nde ise, kapı veya pencere olarak nitelendirilebilecek sabit yapısal elemanlara rastlanmamakla birlikte, hem kapı ve pencere hem de duvar vazifesi gören hareketli bölücüler (shoji ve fusuma) bulunur. Hareketli bölücüler, farklı biçimleri ve süslemeleri ile konutun cephe ve iç mekân düzeninin tezyini niteliğine katkıda sağlarlar.

Ayrıca, her iki konut geleneğinde de, genellikle dekor niteliği taşıyan tepe pencerelerinin kullanımı ortak bir özelliktir. Geleneksel Türk Evi'ndeki vitraylı tepe pencereleri, mekânın aydınlatılmasına ve renklendirilmesine katkı sağlarken, geleneksel Japon Evi'ndeki ranma, dekoratif niteliğinin yanı sıra mekân içerisindeki havalandırmanın sağlanması ve mekânın aydınlatılması amaçlarıyla kullanılırlar.



Resim 15. Geleneksel Türk Evi'nde pencere (URL-15)



Resim 16. Geleneksel Japon Evi'nde shoji (URL-16)

Özgün ahşap taşıyıcı strüktürüyle estetik ve zengin bir görünüme sahip olan geleneksel Türk Evi'nin duvarlarında pek çok amaca hizmet eden dolaplar, raflar, ocak ve pencere dizileri belli bir düzen içinde yerleştirilirler. Geleneksel Türk Evi'nde duvarlar, işlevsel özelliklerinin ötesinde mekân kurgusunda dekorasyonu tamamlayıcı unsurlardır. Tavanlarda ise, ailenin ekonomik durumuna bağlı olarak zengin özelliklere sahip detaylar oluşturulur. Türk toplumunun bağdaş kurarak oturması ve ibadetlerini zemin düzleminde yapmalarından dolayı, ahşap döşemenin üzeri halı veya kilimler ile kaplanır ve bu öğeler iç mekânın görünümünü zenginleştirir.

Geleneksel Japon Evi'nde, iç-dış mekân sınırlandırılmasını ve mekânların bölünmesini sağlayan sabit duvarlar olmayıp konut ile doğa arasındaki sürekliliği sağlayan hareketli bölücüler kullanılır. Bu hareketli bölücüler ile mekânlar daha esnek ve kullanışlı hale getirilirken, diğer taraftan da eşsiz süslemeleri ile estetik açıdan zengin mekânlar oluşturulur. Ancak, tinsel ve dinsel kaygılarla oluşturulan özelleşmiş mekânlarda (zashiki, chashitsu gibi) tokonoma, chigai-dana, tsuke-shoin gibi sembolik detaylara ayrılmış sabit duvarlar da bulunmaktadır. Geleneksel Japon Evi'nin özelleşmiş mekânların ve günlük yaşama ayrılan alanların üst örtüsünde, doğadan seçilen malzemelerden yapılmış tavan kaplamaları kullanılırken doma, banyo, tuvalet gibi mekânlarda çatı strüktürü tamamen açık bırakılmıştır. Konutlarda döşeme, mekânın kullanımına uygun olarak, çalışma alanlarının zemini sıkıştırılmış topraktan yapılırken, yaşam alanlarının yükseltilmiş ahşap döşemenin üzeri tatami matları ile kaplanmaktadır.



Resim 17. Geleneksel Türk Evi'nde yapısal bileşenler (URL-17)



Resim 18. Geleneksel Japon Evi'nde yapısal bileşenler (URL-18)



Resim 19. Geleneksel Türk Evi'nde üst örtü tezyinatı (Küçükerman, 1985)



Resim 20. Geleneksel Japon Evi'nde tavan kaplaması (Yagi, 1986)

Geleneksel Türk Evi'nde, katları birbirlerine bağlayan ve katlar arası dolaşım sürekliliğini sağlayan merdivenler, farklı biçimleri ve incelikli ahşap işçilikleriyle mekânın kimliğini tanımlarlar. Konutlarda önemli bir rolü olan merdivenlerin etrafı galerilerle çevrilir ve tüm merdiven doğal ışıkla aydınlatılarak mekân içindeki konumu vurgulanır. Geleneksel Japon Evi'nin genellikle tek katlı oluşuna bağlı olarak merdiven oluşturulmamıştır. Ancak, gerekli durumlarda oluşturulan merdivenler, duvarlarla gizlenerek veya bölmelerle çevrilerek maddesel varlıkları gizlenerek yokumsanmıştır.



Resim 21. Geleneksel Türk Evi'nde merdiven (URL-19)



Resim 22. Geleneksel Japon Evi'nde merdiven (URL-20)



Resim 23. Geleneksel Türk Evi'nde çatı örtüsü (URL-21)



Resim 24. Geleneksel Japon Evi'nde çatı örtüsü (URL-22)

Her iki vernaküler konut mimarisinde, çatı örtüsü ve saçak uygulamaları birbirine benzer özellikler göstermektedir. Ahşap strüktürlü çatıların en önemli özelliği beşik ya da kırma ve onların birleşimlerinden meydana getirilen basit biçimlerle oluşturulmalarıdır. Dahası, gerek geleneksel Türk Evi gerekse geleneksel Japon Evi'nde, yapı bütünlüğü içinde yer alan geniş saçaklar, cephe görünümünde görsel bir etkiye sahiptir.

4. Sonuç

İnsanlık tarihinin başından günümüze dek, barınma, insanın en temel gereksinimleri arasında yer almıştır. İnsanoğlu, doğal çevre olaylarından ve çeşitli tehlikelerden korunmak için bölgesel verilerin ve zamanın teknolojik düzeyi elverdiği ölçüde barınma gereksinimini karşılayacak birtakım mekânlar oluşturmuştur. Toplumsal gelişme ile birlikte gelen yeni yaşam biçimi, değişen üretim ortamı, oluşan yeni ihtiyaçlar ve istekler doğrultusunda barınma kavramına bakış açısı değişmesiyle mimari üretimde farklılaşmalar meydana gelmiş ve fonksiyonel mekân organizasyonuna sahip konutlar geliştirilmiştir.

Tarihsel oluşum ve gelişim süreci içerisinde konut mimarisi, toplumsal kimlik, kültürel değerler, yaşam koşulları, tarihsel birikim gibi toplumsal dinamikler ile teknolojik düzey ve bölgesel özellikler ile bağlantılı olarak gelişerek özgün ve farklı kent dokuları oluşmasında etkili olmuştur. Kent dokusunu ve kimliğini oluşturan konut mimarisindeki farklılıklar, toplumun ideolojik tutumları, inanç sistemleri, kültürel değerleri, ekonomik yapısı, sosyal eğilimleri ile toplumun yaşanmışlıkları ve zaman içerisinde geçirdiği değişimler hakkında önemli ipuçları vermektedir. İnsanlık tarihinin başından günümüze kadar, uzun bir tarihsel oluşum ve gelişim sürecinden geçmiş olan geleneksel konut mimarisi, kültürel mirasın en önemli bileşenlerinden biri olarak varlığını sürdürmektedir.

Yoğun bir tarihi birikimden beslenen ve güçlü bir kültürel zenginliğin ürünü olan geleneksel Türk Evi ile geleneksel Japon Evi, birbirinden farklı iki topluma ait kültürel değerlerin bilinmesinin yanı sıra, geleneksel konut mimarisi ölçeğinde değerlendirmede, benzer noktalara temas edilmesi açısından oldukça çarpıcı bir tablo ortaya çıkarmaktadır. Birbirinden farklı coğrafyalarda üretilen iki geleneksel konut mimarisinin birbirinden ayrıldığı noktalar olmakla birlikte, toplumsal kimlik, kültürel değerler, inanç sistemi, bölgesel veriler ve tarihsel deneyimin mekâna yansıtılması, farklı işlevleri bir arada barındıran esnek mekân kurgusunun oluşturulması bakımından oldukça yakın benzer özellikler göstermektedir. Özgün yapım teknikleri ve yapısal özellikler, iç mekân organizasyonunda uygulanan tasarım yaklaşımları açısından birbirlerinden farklı özellikler taşıdıkları da görülmektedir.

Kaynakça

- Akok, M. (1951). "Çorum'un Eski Evleri", *Arkitekt Dergisi*, 237-238,171-189.
- Akok, M. (1957). "Tokat Şehrinin Eski Evleri", *Ankara Üniversitesi Türk ve İslam Sanatları Tarihi Enstitüsü İlahiyat Fakültesi Yıllık Araştırmalar Dergisi*, 2, 129-151.
- Ayverdi, A. (1972). *Japonya Mimarlığı Mekanı: Özellikle İç Mekan Kuruluşuna Yaklaşım*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Bektaş, C. (2018). *Türk Evi*. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Bertram, C. (2012). *Türk Evini Hayal Etmek Eve Dair Kolektif Düşler*. İstanbul: İletişim Yayınları.
- Boran, S., Yılmaz, D., Ürük, Z. F., Gökler, S. H. (2018). "Evaluation of Spatial Risks of Nursing Homes by Fuzzy Risk Analysis Metod", 18. Uluslararası Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Vienna Teknik Üniversitesi, Viyana, Avusturya.
- Bossert, J. ve Meutes-Wilsing, A. (1997). *Gündelik Yaşamda Zen*. (çev. Seda Toksoy). İstanbul: Okyanus Yayıncılık.
- Bostancıoğlu, E. (2002). *Çatılar*. İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları.
- Bozkurt, S. G. (2013). "19.yy.da Osmanlı Konut Mimarisinde İç Mekan Kurgusunun Safranbolu Evleri Örneğinde İrdelenmesi", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 62, 37-70.
- Bozkurt, S. G. ve Altınçekiç, H. (2013). "Anadolu'da Geleneksel Konut ve Avluların Özellikleri ile Tarihsel Gelişiminin Safranbolu Evleri Örneğinde İrdelenmesi", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 63, 69-91.
- Cansever, T. (2002). *Türk Evi'nin Mimarisi*. Ankara: Yeni Türkiye Yayınları.
- Cansever, T. (2009). *İslam'da Şehir ve Mimari*. İstanbul: Timaş Yayınları.

- Cansever, T. (2010). Osmanlı Şehri. İstanbul: Timaş Yayınları.
- Cram, R. A. (1906). Impressions of Japanese Architecture and the Allied Arts. London: John Lane The Bodley Head.
- De Mente, B. L. (2006). Elements of Japanese Design. New York: Tuttle Publishing.
- Eldem, S. H. (1954). Türk Evi Plan Tipleri. İstanbul: İTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları.
- Eldem, S. H. (1984). Türk Evi Osmanlı Dönemi. İstanbul: Türkiye Anıt Çevre Turizm Değerlerini Koruma Vakfı.
- Erdemir, A. V. (2000). Genel Hatlarıyla Cha-No-Yu. Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 29, 105-115.
- Erdemir, E. (1993). Culture-Space Relationship: Japanese Traditional Residential Interiors. Bilkent Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Evren, M. (1959). Türk Evinde Çıkma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Doçentlik Tezi, İstanbul.
- Eyüce, A. (2005). Geleneksel Yapılar ve Mekanlar. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Göğebakan, Y. (2015). “Karakteristik Bir Değer Olan Geleneksel Türk Evi'nin Oluşumunu Belirleyen Unsurlar ve Bu Evlerin Genel Özellikleri”, İnönü Üniversitesi Kültür Ve Sanat Dergisi, 1 (1), s.41-55.
- Günay, R. (1989). Geleneksel Safranbolu Evleri ve Oluşumu. Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Günay, R. (1998). Türk Ev Geleneği ve Safranbolu Evleri. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Günay, R. (2014). İstanbul'un Kaybolan Ahşap Konutları. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Güvenç, B. (2002). Japon Kültürü, İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Hasol, D. (2012). Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Kafesçioğlu, R. (1954). Kuzey-Batı Anadolu'da Ahşap Ev Yapıları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Doçentlik Tezi, İstanbul.
- Kakuzo, O. (2014) Çay ve Zen. (çev: Barış Acar). İstanbul: Maya Kitap.
- Keskin, S. ve Yıldırım, K. (2016), “Geleneksel Kemaliye Evlerine Ait Kapıların İncelenmesi”, Sanat ve Tasarım Dergisi, sayı: 17, s. 119-137.
- Koren, L. (2017). Sanatçılar, Tasarımcılar, Şair ve Filozoflar için Wabi-Sabi. (çev. Burcu Denizci). İstanbul: Sub Yayınları.
- Köse, A. (2005). “Türkiye'de Geleneksel Kırsal Konut Planlarında Göçebe Türk Kültürü İzleri”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2, 158-191.
- Kuban, D. (1976). Sanat Tarihimizin Sorunları. İstanbul: Çağdaş Yayınları.
- Kuban, D. (1995). Türk “Hayat”lı Evi, İstanbul: Ziraat Bankası Yayınları.
- Kuban, D. (2002). Mimarlık Kavramları. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Kuban, D. (2017). Türk Ahşap Konut Mimarisi 17. - 19. Yüzyıllar. İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Küçükerman, Ö. (1973). Anadolu'daki Geleneksel Türk Evinde Mekan Organizasyonu Açısından Odalar. İstanbul: Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu Yayını.
- Küçükerman, Ö. (1985). Kendi Mekanının Arayışı İçinde Türk Evi. İstanbul: Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu Yayını.
- Küçükerman, Ö. ve Güner, Ş. (1995). Türk Mirasında Türk Evleri. İstanbul: T.C. Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Linam, J. E. (1999). Machiya and Transition A Study of Developmental Vernacular Architecture. Virginia Polytechnic Institute and State University, Thesis Proposal, Virginia.
- Matsushita, S. (2004). Comparative Study Of The Structure Of Traditional Timber Housing In Turkey And Japan. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Morse, E. S. (1886). Japanese Homes and Their Surroundings. Boston: Ticknor and Company.
- Naumann, R. (2007). Eski Anadolu Mimarlığı. Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları.
- Nishi, K. ve Hozumi, K. (1996). What is Japanese Architecture: A Survey of Traditional Japanese Architecture. Tokyo: Kodansha International Ltd.
- Özdoğan, M. (1996). “Kulübeden Konuta: Mimarlıkta İlkler”, Tarihten Günümüze Anadolu'da Konut ve Yerleşme, Habitat II Konferansı, İstanbul.
- Özel, Y. (2019). “Türk Evinde Sokağa Uzanan İç Mekanlar: Çıkmalar”, 3. Uluslararası Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Konferansı, Berlin, Almanya.
- Özel, Y., Ürük, Z. F., Uzgören, G., Öztürk, T. (2018). “Mobilya ve Süs”, 2. Ulusal İç Mimari Tasarım Sempozyumu, Trabzon.
- Öztürk, T., Ürük, Z. F., Özel, Y., Uzgören, G. (2018). “Mekansal Elverişlilik ve Fiziksel Çevre Kalitesi Bağlamında Mekânsal Kalite Analizi”, 2. Ulusal İç Mimari Tasarım Sempozyumu, Trabzon.
- Rapoport, A. (1969). Human Form and Culture. USA: Prentice-Hall.
- Roderick, J. (2008). Minka: My Farmhouse in Japan. New York: Princeton Architectural Press.
- Sadler, A. L. (2009). Japanese Architecture: A Short History. New York: Tuttle Publishing.
- Soetsu, Y. (1989). The Unknown Craftsman: A Japanese Insight into Beauty. Tokyo: Kodansha International Ltd.
- Solak, S. G. (2017). “Mekan-Kimlik Etkileşimi: Kavramsal ve Kurumsal Bir Bakış”, Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6 (1), s.13-37.
- Soshitsu, S. (1998). The Japanese Way of Tea: From its Origins in China to Sen Rikyu. Honolulu: University of Hawai'i Press.
- Soysal, M. (1996). Tarihten Günümüze Anadolu'da Konut ve Yerleşmenin Öyküsü. İstanbul: Tarih Vakfı Yayınları.
- Suzuki, S. (1992). Zen Zihni Başlangıç Zihnidir. (çev. Cem Şen). İstanbul: Dharma Yayınları.
- Suzuki, D. T. (1997). Zen Budizm: D.T. Suzuki'den Seçme Yazılar. (çev. İlhan Güngören). İstanbul: Yol Yayınları.
- Trevarian, (2004). Şibumi. (çev. Belkıs Çorakçı Dışbudak). İstanbul: E Yayınları.
- Tuztaşı, U. (2010). İdeal Osmanlı Türk Evinin Anadolu Evlerinden Ayrıştırımında Biçimsel ve Bilimsel Açıklamalar. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 14, 497-510.
- Tuztaşı, U. ve Aşkun, İ. Y. (2013). “Türk Evi İdealleştirmesinde Osmanlı Evi ve Anadolu Evi Kavramlarının Ortaklıklarına İlişkin İşlevsel Açıklamalar”, Bilig-Türk Dünyası Sosyal Bilimler Dergisi, 66, 279-296.

- Ürük, Z. F. (2016). “Medeniyetler İçinde Hamamın Gelişimi ve Kültürel Olarak Mekân Analizleri”, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi- The Journal of Academic Social Science*, 28, s. 185-209.
- Ürük, Z. F., Yılmaz, D. (2017) “Analysis of Spatial Flow and Determination Life Risks of People Living in Nursing Homes in İstanbul”, 17. Uluslararası Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Vienna Teknik Üniversitesi, Viyana, Avusturya.
- Vitruvius. (2005). *Mimarlık Üzerine On Kitap*. (çev. Suna Güven) İstanbul: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları.
- Yagi, K. (1986). *A Japanese Touch for Your Home*. Tokyo: Kodansha International Ltd.
- Yamamoto, T. (1989). *Geleneksel Türk ve Japon Evlerinin Mekansal ve Yapısal Açından Karşılaştırılması ve Koruma Yöntemlerinin İncelenmesi*. Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yamazaki, M. (2010). *Japon Kültürü: Japonlar ve Bireycilik*. (çev. Oğuz Baykara). İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- Yoshida, T. (1956). *The Japanese House and Garden*. New York: Frederick A. Praeger.
- Young, D. ve Young M. (2007). *The Art of Japanese Architecture*. New York: Tuttle Publishing.
- Yürekli, F. ve Yürekli, H. (2007). *Türk Evi Gözlemler-Yorumlar*. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Watts, A. W. (1998). *Zen Yolu: Zen Budizm’in İlkeleri*. (çev. Sena Uğur). İstanbul: Şule Yayınları.
- URL-1: <https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-la-arquitectura-i> (Erişim Tarihi: 13.11.2018)
- URL-2: <http://tarihdeniz.blogspot.com/2009/12/cayonu-ilk-neolitik-yerlesimler.html> (Erişim Tarihi: 15.11.2018)
- URL-3: http://www.mustafacambaz.com/details.php?image_id=31459 (Erişim Tarihi: 26.11.2018)
- URL-4: <http://www.siverekhaber.com/unutulmaya-yuz-tutmus-tarihi-kapilar-p3-aid,6819.html#galeri> (Erişim Tarihi: 10.12.2018)
- URL-5: <http://minetozanlioglu.blogspot.com/2013/11/iran-gunlugum-11-isfahan.html> (Erişim Tarihi: 10.12.2018)
- URL-6: <https://www.osmaneli.bel.tr/osmaneli-konaklari> (Erişim Tarihi: 11.12.2018)
- URL-7: <http://www.sirtcantam.com.tr/emirhocazade-ahmet-beyler-evi.../> (Erişim Tarihi: 20.12.2018)
- URL-8: <https://www.dunyabulteni.net/kultur-sanat/osmanli-turk-evi-ozellikleri-h432420.html> (Erişim Tarihi: 24.12.2018)
- URL-9: <http://artehistoriaestudios.blogspot.com/2018/12/capitulo-4-japon-moderno-temprano.html> (Erişim Tarihi: 10.02.2019)
- URL-10: <https://www.alamy.es/foto-japon-izushi-izushi-shiryokan-museum-interior-gran-suelo-de-tatami-con-escalera-con-armario-de-almacenamiento-incorporado-debajo-el-periodo-meiji-119566228.html> (Erişim Tarihi: 14.03.2019)
- URL-11: <http://tsukushigata.webcrow.jp/others002.html> (Erişim Tarihi: 15.02.2019)
- URL-12: http://www.mahoron.fcp.or.jp/nenpou/nenpou2001_37.htm (Erişim Tarihi: 23.03.2019)
- URL-13: http://www.wikiwand.com/tr/Osmanl%C4%B1_mimarisi (Erişim Tarihi: 25.03.2019)
- URL-14: <http://innersilence.jp/blog/?p=379> (Erişim Tarihi: 25.03.2019)
- URL-15: <https://sites.google.com/site/safranboluluyuz/eserler/evleri> (Erişim Tarihi: 03.04.2019)
- URL-16: <https://interior-book.jp/112770> (Erişim Tarihi: 03.04.2019)
- URL-17: https://www.tripadvisor.co.uk/LocationPhotoDirectLink-g311316-d547572-i43345760-Mehmet_Ali_Aga_Mansion-Datca_Mugla_Province_Turkish_Aegean_Coast.html (Erişim Tarihi: 05.04.2019)
- URL-18: <https://liiife.jp/culture/traditional-japanese-houses/> (Erişim Tarihi: 05.04.2019)
- URL-19: <http://www.sirtcantam.com.tr/emirhocazade-ahmet-beyler-evi.../> (Erişim Tarihi: 07.04.2019)
- URL-20: <https://gardenmirror.wordpress.com/> (Erişim Tarihi: 14.04.2019)
- URL-21: <http://www.mimdap.org/?p=114745> (Erişim Tarihi: 04.05.2019)
- URL-22: <http://touzainanboku.com/?p=1079> (Erişim Tarihi: 04.05.2019)



Huzurevlerinde Yatak Odası Mekanının Gelişim Süreci, İstanbul ve Brüksel Örneği

Zerrin Funda Ürük^{1*}, Tuğçe Öztürk²

¹ İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3994-5883)

² İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9917-1410)

(İlk Geliş Tarihi 2 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.593611)

ATIF/REFERENCE: Ürük, Z. F. & Öztürk, T. (2019). Huzurevlerinde Yatak Odası Mekanının Gelişim Süreci, İstanbul ve Brüksel Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 662-678.

Öz

Bu çalışmada; yurtiçi ve yurtdışı huzurevlerinde yaşayan kişilerin mekân içi yaşam alanlarını yerinde irdelenerek, yaşlıların yoğunlukla kullandığı yatak odası mekânının, işlevsel olarak doğru ve etkin olarak kullanıma uygun olup olmadığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, yaşlılık sorunları ile Türkiye'den çok daha önce karşılaşmış ve çözüm projeleri geliştirmiş AB standartlarına sahip Belçika'daki huzurevlerinin mekânsal analizleri yerinde irdelenerek, elde edilen veriler sayesinde İstanbul'un gelecekte yaşlılar için daha yaşanabilir huzurevleri tasarlanmasına fayda sağlayacak öneri çalışmaları sunulmuştur. Araştırma sürecinde yaşlı bakım evi ve huzurevlerinin ulusal ve uluslararası olarak yönetmelikleri incelenmiş, yaşlıların yaşam kalitelerini yüksek düzeye ulaştırmak için yönetmeliğe uygun olarak yapılması gereken mekânsal planlamalar gözden geçirilmiştir. Buna bağlı olarak, yaşlı bakım evi ve huzurevlerinde yaşayan kişilerin yatak odası mekânının var olan yönetmeliklere bağlı olarak ve planlamadan ötürü karşılaştığı aksaklıklar irdelenecek ve huzurevi kullanıcılarının mekânsal konforunu arttıracak çözüm önerileri hakkında öneriler verilecektir. Çalışmada yurtiçi ve yurtdışı huzurevi çalışanlarından anket (yüz yüze) yolu ile veriler alınmıştır. Kurumlardan bizzat alınan ya da çizimleri yapılan mimari planlar sayesinde, yatak odası mekânlarının kapasiteleri, m² leri ve kullanımları doğrultusunda aksaklıklar görülmüş ve öneri çalışmalar sunulmuştur. Bu çalışma sonucunda, İstanbul ve Brüksel'deki huzurevlerinde yaşayan bireylerin gereksinimlerine bağlı olarak yaşlılıkta meydana gelen değişimler dikkate alınarak, yaşam kalitelerini yüksek düzeye ulaştırmak için yatak odası mekânının planlama esnasında dikkat etmemiz gereken unsurlar tespit edilerek, yapılması gerekenler öneri çalışmaları olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Huzurevi tasarımı, Erişebilirlik, Ergonomi, Mimarlık, İç mimarlık

Development Process of Bedroom Spaces in Nursing Homes, İstanbul and Brussels Sample

Abstract

In this study; it is aimed to evaluate the functionally correct and effective use of the bedroom space used by the elderly by examining the living spaces of the people who living in domestic and foreign nursing homes. In this context, the spatial analysis of nursing homes in Belgium that has EU standards, which had previously encountered than Turkey the problems of old age and developed solutions, were examined on site and with the help of the obtained data, suggestions were given which would benefit the elderly in designing more livable nursing homes in İstanbul, in the future. In the research process, the national and international regulations of elderly care homes and nursing homes have been examined and spatial plans that have to be done with the regulations to bring the living quality of the elderly to a high level have been reviewed. Accordingly, the problems faced by people living in elderly care homes and nursing homes due to planning in the bedroom space will be investigated depending on the regulations and a solution proposal will be given to increase the spatial comfort of the nursing home users. In the study, data were collected via face-to-face surveys from domestic and foreign nursing home staff. Thanks to the architectural plans drawn with the data we obtained from the institutions, the defects of the bedroom spaces in terms of their capacities, m² and usage were seen and suggestion works were presented. As a result of this study, the necessary things to be done during the planning of the bedroom space were presented as suggestions, taking into account the needs of the elderly

* Sorumlu Yazar: İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3994-5883, zfuruk@gelisim.edu.tr

and the changes in the old age in order to increase the living qualities of the individuals living in the nursing homes in Istanbul and Brussels to a high level.

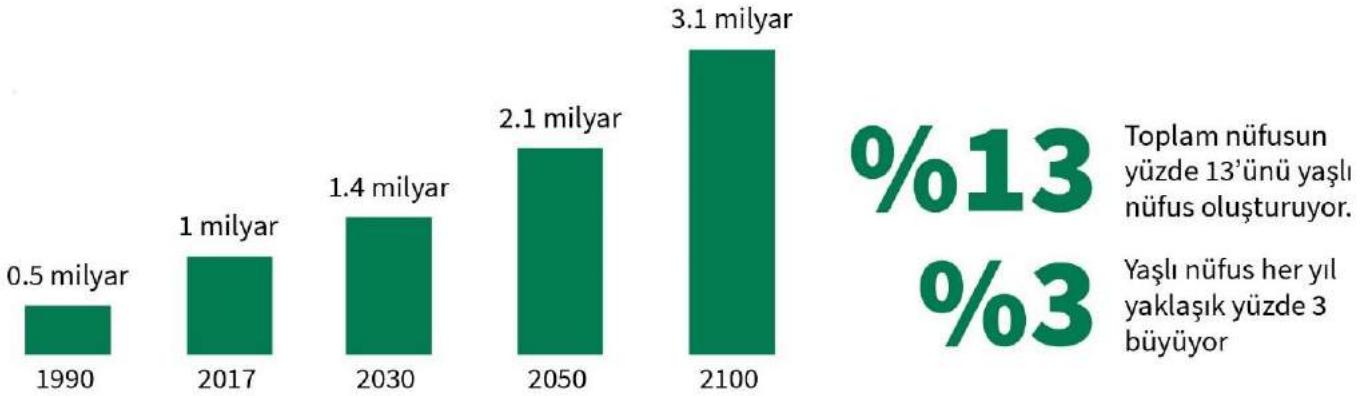
Keywords: Nursing home design, Accessibility, Ergonomics, Architecture, Interior architecture

1. Giriş

21. Yüzyılda, tüm dünya ülkeleri açısından ön plana çıkan en önemli sorunlardan birisi yaşlanma olmuştur. Günümüzde insanların daha uzun yaşaması ve doğum oranlarının azalmasıyla beraber yaşlı nüfus oranının sayısal ve oransal olarak artmasına ve dünyamızın giderek demografik yaşlanma sürecine girmesine yol açmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün yaşlanmayı kronolojik olarak ele almış ve yaptığı sınıflandırmaya göre; (URL-1)

- 0-18 yaş arası: Ergen,
- 18-65 yaş arası: Genç,
- 65-74 yaş arası: Genç-yaşlı,
- 74-84 yaş arası: Yaşlı,
- 85 yaş ve üzeri: Çok yaşlı kabul edilmektedir.

Gerekli sosyal destek sistemleri oluşturulmadan ortaya çıkan yaşlı nüfustaki patlama yılda %3 oranında bir artışla devam etmektedir. Bugün dünya üzerindeki toplam 60 yaş ve üstü yaşlılarının nüfusunun 2015 ve 2050 yılları arasında 900 milyondan 2 milyara çıkacağı ve 2100 yıllarında ise 3,1 milyar olacağı öngörülmektedir (Şekil 1). Bu da toplam 65 yaş ve üstü nüfusun yüzde 13'lik nüfusu oluştururken 2050'de bu oranın yüzde 22'nin üzerine çıkması beklenmektedir. (URL-2)

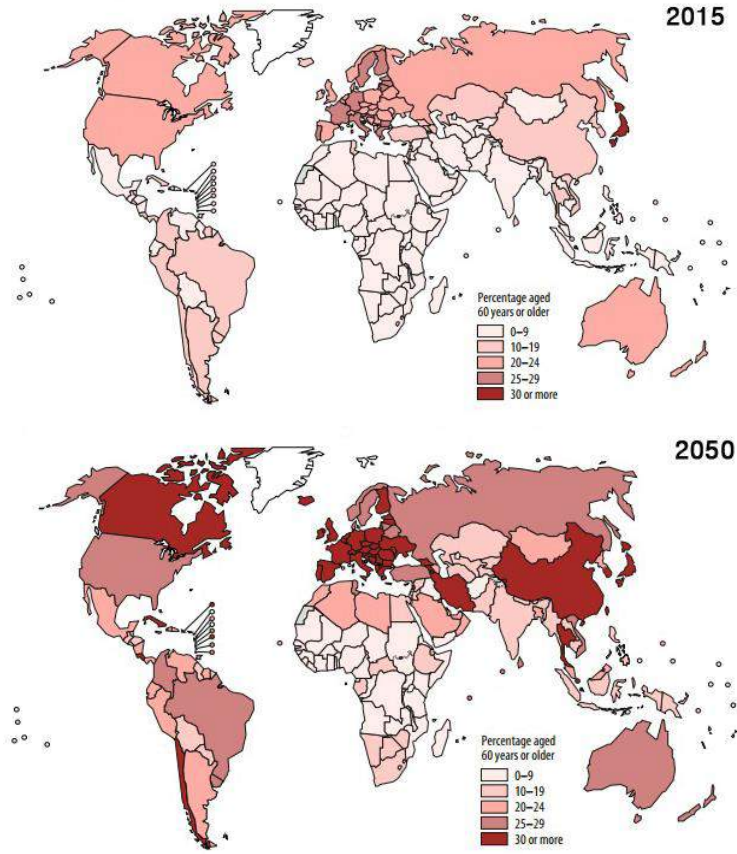


Şekil 1 Birleşmiş Milletler (BM) Dünya Nüfus Tahminleri Raporu'na göre 1990- 2100 yılları arası 60 yaş ve üzeri nüfus tahminleri (URL-3)

Dünyada en hızlı büyüyen yaşlı grubu 80 yaş üstüdür, 2000 yılında bu grubun yaşlı sayısı 70 milyondur. Bu sayının gelecek 50 yıl içinde 5 katından daha fazla artacağı beklenmektedir. Dolayısıyla, gelişmiş ülkelerin, neredeyse tümü önümüzdeki on yıllar içinde nüfuslarının yaşlanmasına tanıklık edeceklerdir (Şekil 2). Bu durum ise yaşlı nüfus için “yaşlıların yaşlanması” olarak adlandırılan bir süreci başlatacaktır. (URL-4)

Ülkemizde doğuştan beklenen yaşam süresi artmakta ve nüfusumuz yaşlanmaya devam etmektedir. Türkiye son nüfus projeksiyonlarına göre; nüfusun yaş yapısının önemli bir göstergesi olan ortanca yaşın 2018 yılında 32, 2023'te 33,5, 2040'da 38,5, 2060'ta 42,3, 2080'de ise 45 olması beklenmektedir. 65 yaş ve üzerindeki yaşlı nüfus olarak tanımlanan nüfusun ise; 2018 yılında %8,7, 2023'te %10,2, 2040'da %16,3, 2060'ta %22,6 ve 2080'de %25,6 oranlarında olacağı öngörülmektedir. (Şekil 3)

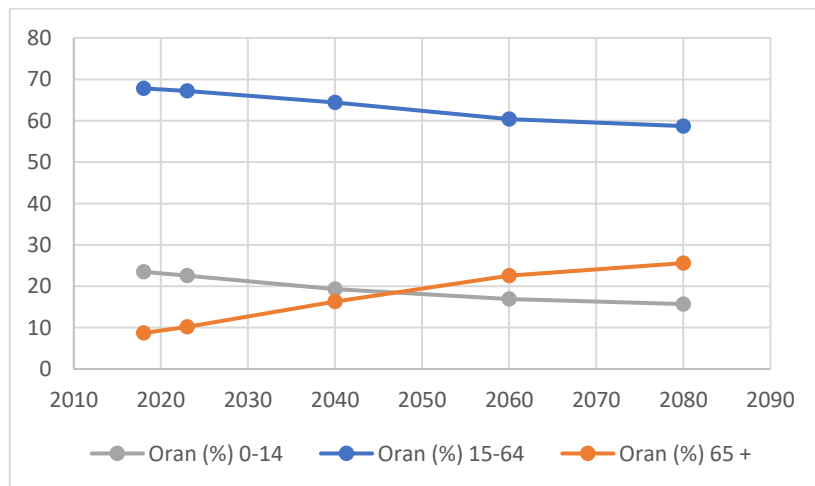
Yapılan araştırmalar, ülkemizin yeni bir demografik yapıya geçmekte olduğunu göstermektedir. Birleşmiş Milletler' in tanımına göre bir ülkedeki yaşlı nüfusun toplam nüfus içindeki oranının %8 ile %10 arasında olması o ülke nüfusunun “yaşlı”, %10'un üzerinde olması ise “çok yaşlı” olduğu anlamına gelmektedir. Buna göre ülkemiz 2023 yılından sonra yaşlı sayısında hızla görülen artışla beraber “çok yaşlı” nüfus sıralamasının içine girecektir. (Şekil 4)



Şekil 2. Dünya 60 yaş + nüfus artışı (2015-2050) (WHO Press, 2015)

Tablo 1. Türkiye yaş yapısı değişimi (2018 -2080) (URL-5)

Yıl	Toplam	0-14	15-64	65 +	Oran (%)		
					0-14	15-64	65 +
2018	81.867.223	19.203.792	55.500.077	7.163.354	23,5	67,8	8,7
2023	86.907.367	19.601.384	58.438.033	8.867.951	22,6	67,2	10,2
2040	100.331.233	19.333.893	64.623.369	16.373.971	19,3	64,4	16,3
2060	107.095.998	18.126.086	64.727.126	24.242.787	16,9	60,4	22,6
2080	107.100.904	16.813.783	62.873.761	27.413.359	15,7	58,7	25,6



Şekil 3. Türkiye'nin 2018 -2080 arası yaşlılık oranları

TUIK'in 2018 istatistiklerine göre; Türkiye'de 2050 senesi sonrası nüfusun azaldığını ve bununla beraber yaşlı nüfusun arttığı gözlenmektedir. Türkiye'de 2000'li senelere kadar genç nüfus göreceli olarak daha fazla olduğundan yaşlıların sorunları hep ikinci planda kalmıştır ve bu durum bir anlamda yaşlıların sorunlarının ihmaline yol açmıştır. Ülkemizin yaşlılık sorunları da demografik yapıdaki gözlenen bu değişim sürecinde de gözlemlendiği gibi büyümeye başlamıştır. Hatta 2020'li yıllardan sonra yaşlıların oranındaki beklenen artış, yaşlıların sorunlarını en öncelikli konularından biri haline getirecektir. Demografik yapıdaki bu değişim süreci ile çok daha önce karşılaşmış ve çözüm öneri geliştirmiş olan gelişmiş ülkelerden rol-model örnekler alınması, bu hızlı değişimdeki sancuları azaltmasına katkı sağlayacaktır.

Her ne kadar Türkiye yaşlı bakımı konusunda önemli bir geçmişe sahip olsa da maalesef bu hizmetin günümüz şartlarına uygun yapıldığını söylemek güçtür. AB standartlarına sahip ülkelerin hızla terk ettiği klasik huzurevi gibi bakım konseptlerinin maalesef halen ülkemizde uygulandığı gözlenebilmektedir. Türkiye'deki huzurevlerinin yaşlının yaşam kalitesini maksimum ölçüde sürdürmek ve geliştirmek için modernize edilmesi gerekmektedir.

Hemen hemen bütün ülkelerde yaşlı insanlar yaşlı bakımevlerinde kalmayı psikolojik, sosyolojik veya kültürel nedenlerden dolayı pek tercih etmemektedirler. Yapılan araştırmalar sonucu yaşlı huzurevlerinde kalan insanlar kendi ev ortamlarını ve orada geçirdikleri yaşamı ve anılarını özlemekteyiz. Bunun için huzurevlerinde yaşlılara kendisini misafir gibi hissetmeyecekleri ve kendi evlerinde kalıyor duygusunu yaşatacağı mekanların tasarlamak gereklidir.

Bu çalışmada; huzurevlerinde yaşayan yaşlıların yaşam kalitelerini yüksek düzeye ulaştırmak için, ev ortamına en çok özdeşleştiği ve yoğunlukla kullanıldığı yatak odası mekanının planlama esnasında dikkat etmemiz gereken unsurlar tespit edilerek, yapılması gerekenler öneri çalışmaları olarak sunulmuştur. Bu bağlamda, yaşlılık sorunları ile Türkiye'den çok daha önce karşılaşmış ve çözüm projeleri geliştirmiş AB standartlarına sahip ülkelerden biri olan Belçika'daki huzurevlerinin mekânsal analizleri yerinde irdelenerek, elde edilen veriler sayesinde İstanbul'un gelecekte yaşlılar için daha yaşanabilir huzurevleri tasarlanmasına fayda sağlayacak öneri çalışmaları sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Huzurevi Tanımı

Huzurevleri ile Huzurevi Yaşlı Bakım ve Rehabilitasyon Merkezleri Yönetmeliği'ne (Resmî Gazete Tarihi: 21.02.2001 Resmî Gazete Sayısı: 24325) (URL-6) göre huzurevi ve bakımevi tanımları aşağıda gibidir;

Huzurevi: +65 yaş ve üzerindeki yaşlı kişileri huzurlu bir ortamda korumak, bakmak ve bu kişilerin sosyal ve psikolojik ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kurulan yatılı sosyal hizmet kuruluşlarıdır.

Yaşlı Bakım ve Rehabilitasyon Merkezi: Yaşlı kişilerin yaşamlarını sağlık, huzur ve güven içinde sürdürmeleri amacıyla, kendi kendilerini idare edebilecek şekilde rehabilitasyonlarının sağlandığı, tedavisi mümkün olmayanların ise sürekli olarak özel bakım altına alındığı yatılı sosyal hizmet kuruluşlarıdır.

2.2. Huzurevi Tarihçesi

2.2.1. Türklerde Huzurevinin Tarihçesi ve Gelişimi

Türklerde tarih boyunca yaşlıların toplumdaki yeri önemli olmuştur. Aile büyüklerine duyulan saygı ve onlar yaşlandığında bakımlarını üstlenmek kültürümüzün bir parçasıdır. Bu durum kültürden kültüre değişkenlik göstermektedir. İnanç ve gelenek gibi faktörler farklılıkların oluşmasında etkili olmuşlardır. Türklerde yaşlıları koruma ve yardım kurumlarının varlığının eskilere dayandığı bilinmektedir.

Yaşlıları koruma hizmetini veren ilk kurum Selçuklular döneminde 11. yüzyılda kurulmuştur. Sivas'ta 11. yüzyılda Reha Oğulları tarafından Darülreha (Huzurevi), Mısır'da Erbil Atabeyi Muzaffereddin Ebu Sait tarafından yaptırılan Gökbörü tesisleri, dört darülaceze, dullar için barınma tesisi bulunduğu saptanmıştır. Memluklular döneminde 13. yüzyılda Kahire'de açılan Seyfettin Kalavun Hastanesi ve tesisleri dul kadınlara ve yaşlılara hizmet vermiştir. (Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı, 2013)

Osmanlılar döneminde imarethaneler, aşevleri ve tekkelerin varlığı ve muhtaç yaşlılara hizmet verdikleri bilinmektedir. Bu dönemde sosyal hizmetler 19. yüzyıla kadar vakıf kuruluşları tarafından veriliyordu. 19. Yüzyılda bu alanda hizmet veren kamu kuruluşları ve hayır kurumları kurulmaya başlanmıştır. Bu kuruluşlardan bazıları 1868 yılında kurulmuş olan Kızılay Derneği ve 1895 yılında kurulmuş olan Darülacezedir. Bu kurumlar Osmanlılar döneminde kurulup günümüze kadar yaşayan kurumlardır.

Cumhuriyet'in ilanından sonra 1930 tarihinde yürürlüğü giren 1580 sayılı yasa ile ilk defa kamu kuruluşu olan Belediyelere bakıma muhtaç kişilerin (yaşlıların) korunması, yaşlı evleri yapma ve yönetme yükümlülüğü getirilmesi üzerine, değişik illerde aceze evleri, güçsüzler yurdu, düşkünler evi ve huzurevi adı altında yatılı yaşlı kuruluşları açılmıştır. Aynı zamanda çeşitli dernekler, azınlıklar ve gerçek kişiler de yaşlılara hizmet vermek amacıyla yatılı yaşlı kuruluşları açmışlardır

Her türlü sosyal yardım ve güvenlik hizmetlerini düzenlemek, korunmaya muhtaç yaşlı, çocuk ve engellilerin bakımı, yerleştirilmesi ve rehabilitasyon hizmetlerini vermek üzere 1963 yılında Sosyal Hizmetler Genel Müdürlüğü kurulmuştur. Bu şekilde ilk huzurevi 1966'da Konya'da, ikincisi ise Eskişehir'de açılmıştır. Daha sonrasında Bakanlar Kurulu'nca 2011 tarihinde, kamu kurumlarının yeniden yapılandırılması sürecinde Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı bünyesinde Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü oluşturulmuştur.

2.2.2. Yurtdışında Huzurevinin Tarihçesi

Yurt dışında yaşlı bakım ve huzurevleri tarihçesinin gelişim sürecinde 1800'lerden bu yana hem insanlık hem de yaşlılar için önemli değişiklikler olduğunu görürüz. İlk dönemlerde; hiçbir imkânı ve ailesi olmayanlar yaşlılar için "işyeri (workhouses)" ve "yoksul evleri (poorhouses)" olarak adlandırılan mekânlar inşa edilmişti. Hayırseverlik amaçlı olarak inşa edilen işyeri veya fakir evleri olarak adlandırılan bu yerlerde yaşamak oldukça zordu. İçlerinde ikamet eden yaşlılar "mahkûm" olarak adlandırıldı. Cinsiyete göre ayrılmışlar, üniforma giymeye zorlanmışlar ve kaldıkları mekânın bakımını yapmak için çalışmaları gerekiyordu. Bu yerler genellikle yetimlere, engellilere, zihinsel olarak hasta insanlara ve alkoliklere ev sahipliği yapıyordu.

Yaşlıların bakım konusu zamanla geliştirildi. Zihinsel hastalar için sığınma yerleri açıldı, yoksul yaşlılar için konutlar geliştirildi. 1823'te, yaşlılar için ilk konutlardan biri olan Philadelphia'nın Indigent Widows' and Single Women's Society ABD'de açıldı. Modern bakım sisteminin temelleri 1800'lü yılların ortalarında gelişim gösterdi. Yaşlılar için devlet tarafından yürütülen kurumlara alternatif olarak çeşitli örgütler, esnaf ve dini gruplar için kâr amacı gütmeyen evler açılmaya başlandı. Bu gruplara örnek olarak Alman Yardım Cemiyeti, Odd Fellows, Masonlar ve Columbus Şövalyeleri gösterilebilir.

20. yüzyılda, yaşlanma, ilk kez, kendi başına bir çalışma alanı haline geldi. Yüzyılın ilk on yılında "gerontoloji" (yaşlanmanın incelenmesi) ve "geriatri" (yaşlanan insanlar için tıbbi bakım) terimleri ortaya çıktı. Bugün, yaşlı nüfus hızla artmaktadır ve yaşlanan nüfustaki bu artış sebebiyle klasik kurumsal huzurevlerine alternatif olabilecek kurumlara olan gereksinim de çoğalmıştır. (URL-7)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Standartlara Göre Huzurevlerinin Yatak Odası Mekanları

3.1.1. Türkiye Standartları

Huzurevleri ile Huzurevi Yaşlı Bakım ve Rehabilitasyon Merkezleri Yönetmeliği'ne göre; her kuruluşun arsa ve bina koşulları ile olanaklarına uygun olarak; dış mekândan iç mekâna doğru huzurevleri mekânlarında olması gereken mahaller belli edilmiş ve yatak odası mekânının standartları şu şekilde ifade edilmiştir;

Yaşlı odaları; ev ortamına uygun olarak döşenir ve kalacak yaşlı sayısı kadar karyola, yatak, etajer, gardırop, sandalye ve koltuk bulundurulur. Her odada bir masa olması esastır. Odalardaki mobilyaların ahşap malzeme olması tercih edilir. Odalarda yaşlının yatarken uzanabileceği yükseklikte alarm düzeneği kurulur. Tüm oda donanımının sık silinmeye uygun malzemeden olmasına dikkat edilir. Zeminin halı ile kaplanması yerine parça halı kullanılması tercih edilir. Olanaklar ölçüsünde zemin anti-statik, anti-bakteriyel malzeme ile döşenir. Oda ve banyo kapılarının tekerlekli sandalye ve yürüteçlerin rahat hareket edebileceği genişlikte olmasına özen gösterilir. Banyo ve tuvalet mekânı mümkün mertebe yatak odası içerisinde çözümlenmesi istenir. Lavaboların yaşlı ergonomisine uygun yükseklikte olması sağlanır. Ayna, etajer, sabunluk ve havluluk sabitlenir. Banyo musluklarının önüne sabitlenecek oturakların hijyenik malzemeden olması tercih edilir. Sifonların yaşlıların kolay kullanabileceği teknikte olması tercih edilir. (URL-8)

3.1.2. Avrupa ve Belçika Standartları

Avrupa Standardizasyon Komitesi'ne göre Avrupa nüfusu yaşlanıyor ve yaşlanmaya bağlı engellilik de dahil olmak üzere yaşlı nüfusun Avrupa çapında yaygınlığı artıyor. Yaşlı insanların ve engellilerin, yaklaşık 80 milyon kişiye, yani Avrupa Birliği nüfusunun büyük ve artan bir yüzdesine sahip olduğu tahmin ediliyor.

Avrupa Birliği ülkelerinden biri olan Belçika'nın Avrupa Huzurevleri ve Yaşlı Bakım Standartları ile uyum gösterdiği, bununla birlikte yerel şartlara dayanan belli birtakım değişimlerde gösterdiği görülmektedir. Belçika Huzurevleri Çerçeve Yönetmeliğine (2006) göre; Mekânların altyapısı ve ekipman/donanımlarına ilişkin minimum standartlar belirtilmiştir ve buna göre yatak odası mekânına ait standartlar aşağıda belirtilmektedir.

Yatak Odaları; odalar kişilerin rahatça kullanabilecekleri genişlikte olup maksimum konforla donatılmalıdır. Odalarda izin verilen maksimum yatak sayısı 2 adettir. Yaşlılar isterlerse bireysel odalarda kalabilirler. Tek kişilik oda yüzey alanı 8 m²'den küçük, çift kişilik oda yüzey alanı 12 m²'den küçük olamaz. Çift kişilik odalarda yeterli mahremiyet sağlanmalıdır. Odalar normatif olarak belirlenmiş yüzey alanına uygun olmalı ancak bakıma muhtaç sakinler için gerekli materyallerin kullanılabileceği uygun genişlik sağlanmalıdır. Odalarda gömme dolap, masa ve sandalyeler, koltuk ve TV ünitesi bulunmalıdır. Yatak başlarında ve banyo mekânlarında gerekli yerlerde alarm düzeneği olmalıdır. Yeni inşa edilecek binalarda tercihen daha fazla konfor ve daha fazla alan sağlanması opsiyon dâhilindedir. Oda mekânları ve donanımları tekerlekli sandalye kullanıcıları için gerekli olan donatılar ile yeterli şekilde donatılmalıdır. İç mekânda kullanılan zemin malzemesi hijyenik olması esastır. Odalarda yaşlılara uygun tuvalet, duş teknesi ve ekipmanlarını içeren ıslak hacim mekânı bulunmalıdır. Banyolar, tekerlekli sandalye kullanıcılarına uygun donatılmış olmalıdır. Banyo içerisinde sıcak ve soğuk su sağlayan lavabolar bulunmalıdır. Tuvalet ve banyo mekânlarında havalandırma sistemi olmalıdır. (URL-9)

3.2. Huzurevlerinde Yatak Odası Mekanları ve Mekân Standartları

Yaşlılara yönelik hizmet veren, huzurevleri, yaşlı apartmanları, yaşlı hastaneleri, bakım evleri gibi yaşlı barınma mekânları dediğimiz kurumlarda son on yılda mekânsal kalite ve kişisel yaşam alanlarını oluşturma özgürlüğü konuları gündeme gelmiş ve bu konularda önemli gelişmeler olmuştur. Bu kurumlarda yaşayan yaşlılar için ev rahatlığı ve ortamının oluşturulması konusunun yaşlılar üzerindeki fiziksel ve psikolojik olumlu etkileri kanıtlanmıştır. 1970-80 döneminde oldukça küçük ve konforsuz mekânlar tasarlanırken, 1990'ların sonunda yaşlıların eleştirileri dikkate alınarak mekânsal kalite açısından daha iyi mekânlar sunulmaya başlanmıştır.

Her ne kadar Türkiye yaşlı bakımı konusunda önemli bir geçmişe sahip olsa da maalesef bu hizmetin günümüz şartlarına ve AB standartlarına uygun yapıldığını söylemek güçtür. AB standartlarına sahip ülkelerin hızla terk ettiği klasik huzurevi gibi bakım konseptlerinin de maalesef halen ülkemizde uygulandığı gözlenebilmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucu huzurevlerinde kalan yaşlıların kendi ev ortamlarını ve orada geçirdikleri yaşamı ve anılarını özledikleri görülmüştür. Bunun için huzurevleri tasarımları yapılırken yaşlılara kendisini misafir gibi hissetmeyecekleri ve kendi evlerinde kalıyor duygusunu yaşatacağı mekânların tasarlanmasına dikkat edilmesi gereklidir.

Bu çalışmada; huzurevlerinde yaşayan yaşlıların yaşam kalitelerini yüksek düzeye ulaştırmak için, ev ortamına en çok özdeşleştiği ve yoğunlukla kullanıldığı yatak odası mekânının planlama esnasında dikkat etmemiz gereken unsurlar tespit edilerek, yapılması gerekenler öneri çalışmaları sunulmuştur. Bu bağlamda, yaşlılık sorunları ile Türkiye’den çok daha önce karşılaşmış ve çözüm projeleri geliştirmiş AB standartlarına sahip ülkelerden biri olan Belçika’nın Brüksel kentindeki huzurevleri ile İstanbul’daki huzurevleri karşılıklı olarak incelenmiştir.

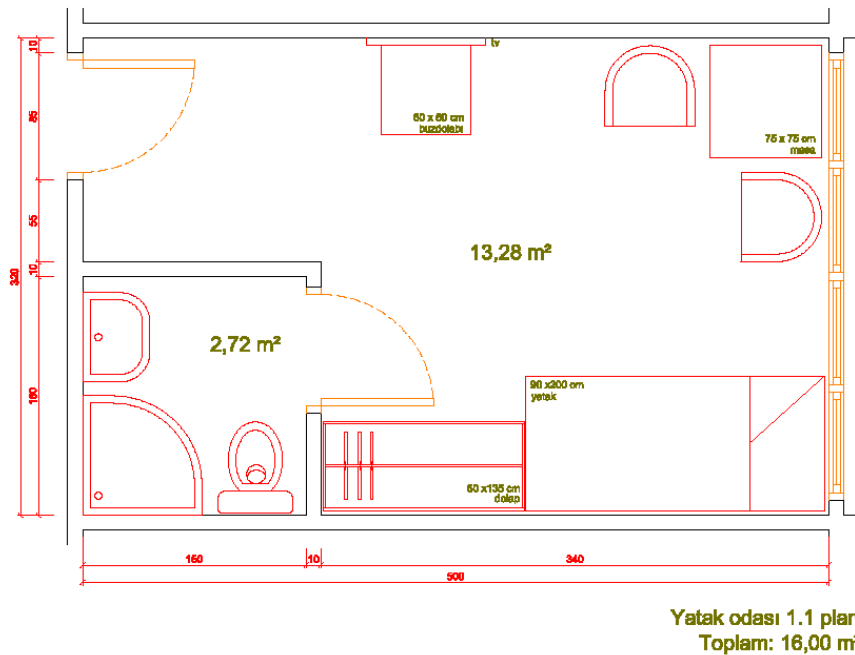
Brüksel ve İstanbul örneği incelemeye alınmasında; her iki kentinde metropol özellikte olması, buldukları ülkenin ekonomik faaliyetlerinin bu kentlerde gerçekleşiyor olması, yaşlı nüfus oranının ülke ortalamasının üstünde olması ve giderek artacağına öngörülmesi gibi etkenleri sıralayabiliriz.

Belçika (Brüksel) ve Türkiye (İstanbul), huzurevleri ve yaşlı bakım merkezleri standartları kapsamında yapılmış olan incelemeler sonucu seçilen belli başlı huzurevlerine ait olan yatak odası mekânlarının analizleri yerinde irdelenerek, elde edilen veriler sayesinde İstanbul’un gelecekte yaşlılar için daha yaşanabilir huzurevleri tasarlanmasına fayda sağlayacak öneri çalışmaları sunulmuştur. Yurtiçi ve yurtdışı seçilen huzurevlerinden tek kişilik, çift kişilik veya üç kişilik örnek yatak odası mekânları seçilmiş ve bu mekânlar yerinde ölçümler ve tespitler yapılarak teknik çizimlere yansıtılmıştır. Bu çizimler üzerinden daha önce bahsettiğimiz standartlara göre uygunluk incelemesi yapılmıştır. Seçilen İstanbul örnekleri ve Brüksel örnekleri ayrı olarak sunulmuştur. Bu kapsamda hem mekânların ait oldukları ülke standartlarına olan uygunluğu hem de seçilen iki ayrı şehrin birbiriyle olan kıyaslaması yapılmıştır.

3.2.1. İstanbul Örnekleri

Çalışma kapsamında İstanbul bölgesinden 3 ayrı huzurevi seçilmiştir. Kullanılan huzurevleri 1, 2 ve 3 şeklinde numaralandırılmıştır. Seçilen huzurevleri birebir incelenmiş yapılan ölçümler ve tespitler sonucunda yatak odası mekânlarının planlama şemaları çıkarılmıştır. Mekânlara ait planlar aşağıda sunulmuştur.

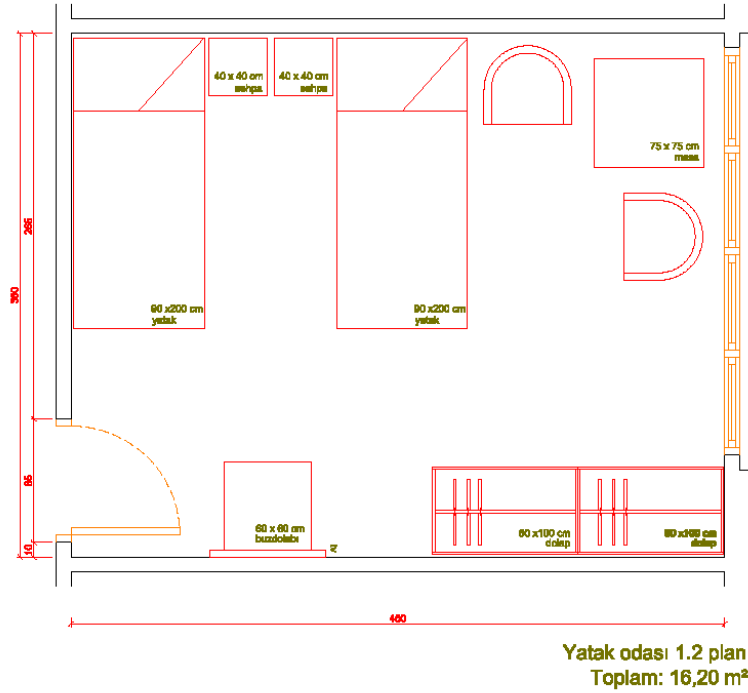
Şekil 4’de gösterilen 1 Numaralı Huzurevi’ne ait tek kişilik yatak odası planı 13,28 m² yatma alanı ve 2,72 m² ıslak hacim alanı olmak üzere toplam 16 m² alandan oluşmaktadır. Oda bir kişilik kullanıcı profiline göre düzenlenmiştir. Temel ihtiyaçlar olan yatak, giysi dolabı, buzdolabı, masa ve sandalyeler odada mevcuttur. Bunun yanı sıra ıslak hacimde olası engelli kullanıma uygun düzenleme görülmektedir. Oda içi tekerlekli sandalye dolaşımına ilişkin olarak ise herhangi bir engel olmadığı görülmektedir. Cephedeki geniş pencerelerin önünde herhangi bir güneş kırıcı eleman olmadığından dolayı, gün ışığı mekâna gerektiğinden fazla girmesine neden olmaktadır. Kontrolsüz gün ışığının insan sağlığı ve psikolojisi üzerinde olumsuz sonuçları olmaktadır, bu tip kurumlarda dikkat edilmesi gereken önemli konulardan biridir.



Şekil 4. 1 Numaralı Huzurevi Tek Kişilik Yatak Odası Planı (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 5’de gösterilen 1 Numaralı Huzurevi’ne ait çift kişilik yatak odası planı 16,20 m² alandan oluşmaktadır. Odada iki kişinin kullanımına uygun olacak şekilde 2 yatak, 2 giysi dolabı, buzdolabı, masa ve sandalyeler mevcuttur. Odada ıslak hacim mekânının e-ISSN: 2148-2683

bulunmaması olası engelli kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamalarının zorlaşmasına sebep olabilecektir. Cephedeki geniş pencerelerin önünde herhangi bir güneş kırıcı eleman olmadığından dolayı, gün ışığı mekâna gerektiğinden fazla girmesine neden olmaktadır.



Şekil 5. 1 Numaralı Huzurevi Çift Kişilik Yatak Odası Planı (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 6'da 1 Numaralı Huzurevi'ne ait tek kişilik oda planı gösterilmektedir. Buna göre olası engellinin veya yaşlının kullanacağı yatak son derece yanlış konumlandırılmıştır. Yatağı kullanan kişinin yattığı esnada pencereyi açması ve odayı havalandırması mümkün görünmemektedir. Açık olan pencere yatan kişi için tehlike arz etmektedir. Ayrıca yatağın radyatörün hemen yanında olması da kışın ısıtma sisteminin açılmasıyla birlikte yatan kişiyi rahatsız edecektir. Bunlara ek olarak, yatak yaşlı ve engelli kullanımına uygun değildir. Öyle ki, yaşlı ve engelli kullanımına uygun ortopedik ve hareket ettirilebilir yataklar mevcuttur ve böyle kurumlarda bu tip yataklar kullanılmalıdır. Yatağın yanında yaşlı kişinin olası durumlara karşı kullanabileceği bir acil çağrı butonu bulunmamaktadır. Bu tip kurumlarda acil çağrı butonunun yatağın yanında, kullanıcının ulaşabileceği bir noktada bulundurulması hayati önem taşımaktadır. Oda içerisinde kullanılan mobilyalar sivri köşelere sahiptir. Bu tehlikeli bir ortam oluşmasına sebep olmaktadır. Bunun yerine oval köşelere sahip mobilyalar kullanıcı açısından daha güvenli olacaktır. Odada kullanılan renkler ve desenler ise karmaşık, uyumsuz ve göz yorucudur. Odaların mümkün olduğunca sade olması ve dekorasyon ile ilgili bazı tercihlerin kullanıcıya bırakılması, kullanıcının ev ortamı ve rahatlığında desteklenmesi ve yaşayacağı mekânı benimsemesi açısından önemlidir. Seçilen renklerin ise dinlendirici renkler olarak adlandırdığımız pastel renklerden seçilmesi ve açık, aydınlık tonlarda olması tercih edilmelidir. Örnekte karmaşık desene sahip bir duvar kâğıdı, uyumsuz renkler, birbirinden çok farklı formlara sahip mobilya ve elemanların tercih edildiği görülmektedir. Bu da oda içinde karmaşaya yol açmaktadır. Ayrıca odanın yeteri kadar ışık almadığı ve karanlık olduğu görülmektedir. Diğer taraftan ise, yer döşemesi yumuşak ve kaymaz özellikte olmasından dolayı doğru tercih edilmiştir.



Şekil 6. 1 Numaralı Huzurevi Tek Kişilik Oda (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

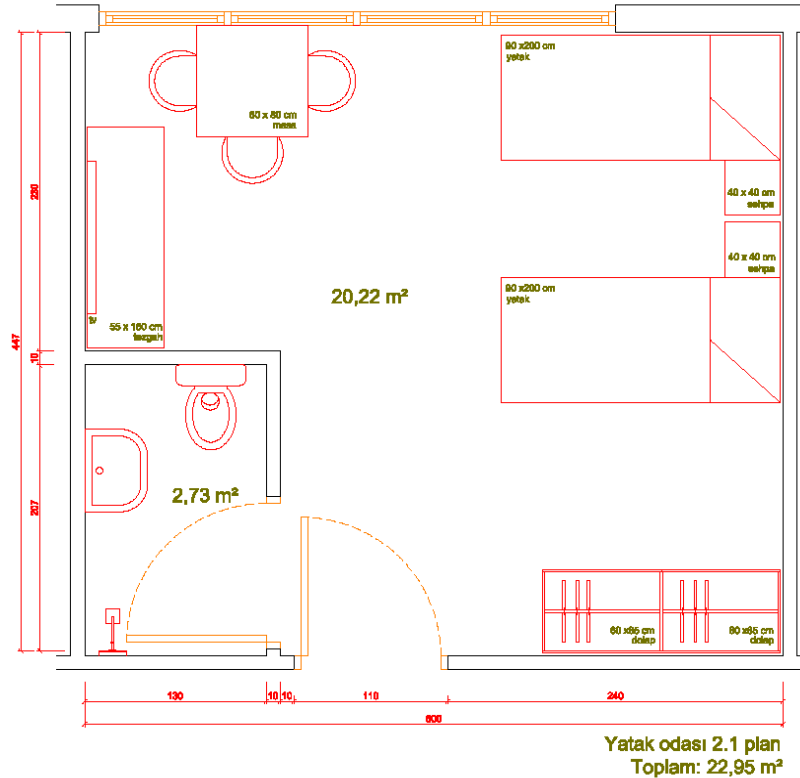
Şekil 7'de **1 Numaralı Huzurevi'ne** ıslak hacim ve tuvalet gösterilmektedir. Tuvaletin yanında kullanılan engelli kullanıcılara yönelik tutunma barı tek başına yetersizdir. Engelli kullanıcılara yönelik daha fazla eleman ve tutunma barı bulunmalıdır. Yer döşemesinde kullanılan seramik karolar kaygan özelliktedir ve tehlike arz etmektedir. Diğer taraftan, ıslak hacimde acil çağrı butonu olduğu görülmektedir.

Şekil 8'te **1 Numaralı Huzurevi'ne** kapı eşiği görseli gösterilmektedir. İki ayrı mekân arasında geçiş sağlayan kapı eşiğinin hem zemin olması gerekmektedir. Resimde görülen eşikteki çıkıntı olası engelli kullanımı açısından uygun değildir. Ayrıca bu çıkıntı kir birikimine yol açtığından dolayı hijyenik olmayan bir ortam ve görüntü oluşturmaktadır. Zeminde kullanılan seramik karoların da kaygan özelliğinden dolayı uygun olmadığı görülmektedir.



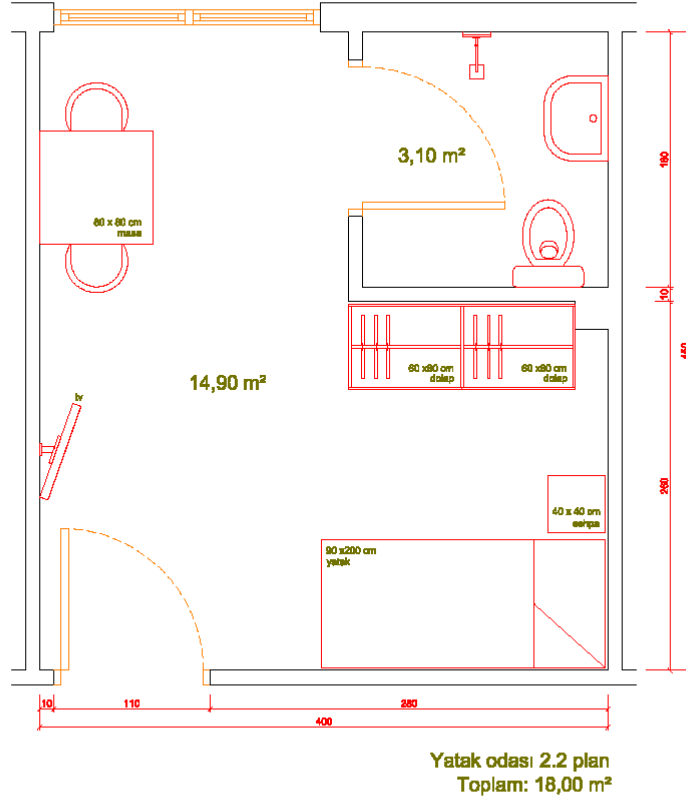
Şekil 7-8. **1 Numaralı Huzurevi Islak Hacim Mekânı Tuvalet ve Kapı Eşiği Görseli** (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 9'te gösterilen **2 Numaralı Huzurevi'ne** ait çift kişilik yatak odası planı 20,22 m² yatma alanı, 2,73 m² ıslak hacim alanından oluşmaktadır. Oda iki kişilik kullanıma uygun olacak şekilde 2 yatak, 2 giysi dolabı, buzdolabı, televizyon ve ünitesi, masa ve sandalyelerden oluşmaktadır. Odanın engelli kullanıcı dolaşımına uygun olduğu görülürken ıslak hacimde bu kullanıcılara yönelik herhangi bir uygulama olmadığı görülmektedir. Oda gün ışığından yararlanma hususunda uygun açıklıklara sahiptir.



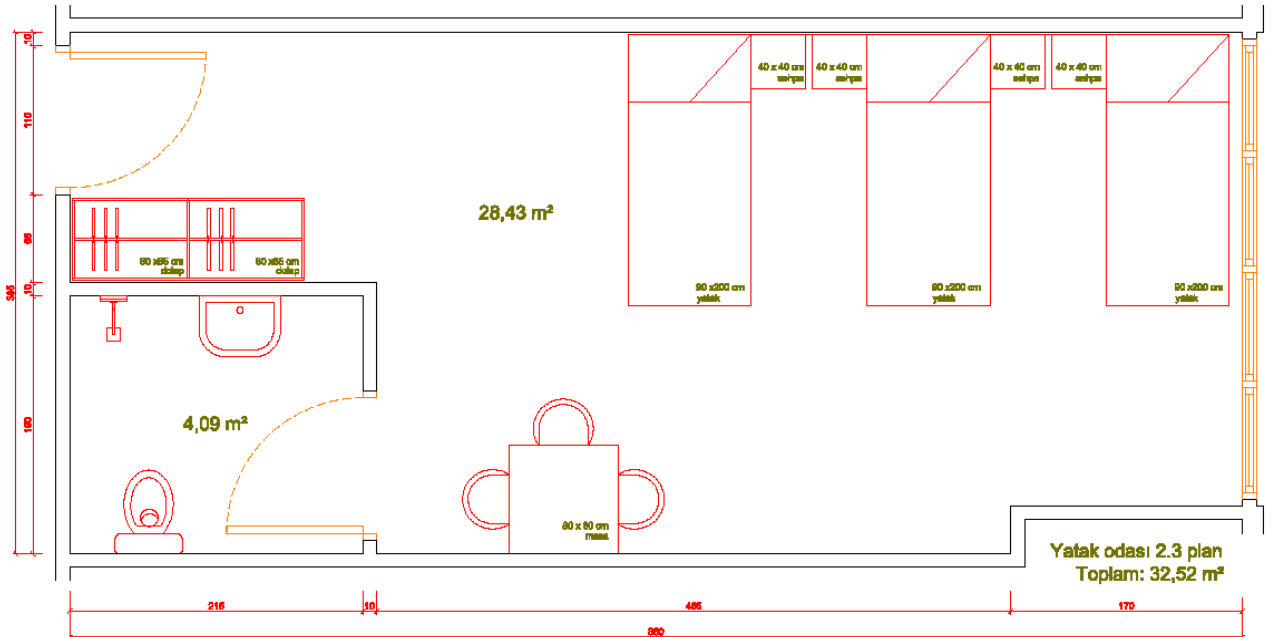
Şekil 9. **2 Numaralı Huzurevi Çift Kişilik Yatak Odası Planı** (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 10'da **2 Numaralı Huzurevi'**ne ait tek kişilik yatak odası planı gösterilmiştir. Oda 14,90 m² yatma ve yaşam alanı, 3,10 m² banyo ve wc alanı olmak üzere toplam 18 m² alandan oluşmaktadır. Oda tek kişilik kullanıma uygundur ve yatak, giysi dolabı, masa ve sandalyeler gibi ihtiyaçlar karşılanmıştır. Odada banyo ve wc içeren ıslak hacim bulunmasına karşın engelli kullanıcılar için bir düzenleme yapılmadığı görülmektedir. Pencere açıklığının dar ve yatma alanına uzak olması mekânın gün ışığından yararlanma olanağını azaltmaktadır. Bu durum ise mekânı kullanan yaşlı üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir.



Şekil 10. 2 Numaralı Huzurevi Tek Kişilik Yatak Odası Planı (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 11'te **2 Numaralı Huzurevi'**ne ait üç kişilik yatak odası planı gösterilmiştir. Oda 28,43 m² yatma ve yaşam alanı ve 4,09 m² banyo ve wc içeren ıslak hacimden olmak üzere toplam 32,52 m² alandan oluşmaktadır. Oda 3 kişilik kullanıma göre kurgulanmıştır. Buna göre 3 yatak, giysi dolapları ve masa, sandalyeler mevcuttur. Oda metrekaare düzeyinde 3 kişinin rahatça yaşamasına ve bu bağlamda gerekli mahremiyet ve kişiye özel yaşam alanlarının oluşmasına olanak sağlamamaktadır. Bu durumda yaşlı bakımında önemle vurgulanan bir konu olan yaşlıların ev ortamı ve rahatlığında desteklenmesi konusu dikkate alınmamıştır. Ayrıca ıslak hacimde de olası engelli kullanıcılara yönelik bir düzenleme olmadığı görülmektedir. Bunun yanı sıra odada mevcut olan pencere açıklığı yeterli gün ışığı girişi için uygundur.



Şekil 11. 2 Numaralı Huzurevi Üç Kişilik Yatak Odası Planı (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 12’de **2 Numaralı Huzurevi’ne** ait iki kişilik oda görseli gösterilmektedir. Yataklar hasta ve engelli kullanımına uygun değildir. Öyle ki, hasta, yaşlı ve engelli kullanımına uygun ortopedik ve hareket ettirilebilir yataklar mevcuttur ve böyle kurumlarda bu tip yataklar kullanılmalıdır. Yatağın yanında yaşlı kişinin olası durumlara karşı kullanabileceği acil çağrı butonu bulunmaktadır. Oda içerisinde kullanılan mobilyalar sivri köşelere sahiptir. Bu tehlikeli bir ortam oluşmasına sebep olmaktadır. Bunun yerine oval köşelere sahip mobilyalar kullanıcı açısından daha güvenli olacaktır. Kullanılan renklerin ve desenlerin ise koyu ve baskın olmasından dolayı karanlık ve kasvetli bir ortam oluştuğu görülmektedir. Kullanılan renk ve desenlerin herkese hitap edecek nitelikte olmaması da bazı kullanıcıların yaşadığı mekânı benimsememesine ve yaşadığı yerden memnun olmamasına sebep olabilir. Bunun yanı sıra zemin malzemesinin doğru tercih edildiği görülmektedir.

Şekil 13’de **2 Numaralı Huzurevi’ne** ait oda görseli gösterilmektedir. Buna göre resimde görünen giysi dolabı ve yatak arasında kalan mesafe çok dardır. Öyle ki, dolabın kapağının açılması halinde hiç mesafe kalmayacağı görülmektedir. Engelli kullanıcıların bu şekilde yerleştirilmiş bir dolabı kullanması mümkün değildir. Engeli olmayan yaşlı kullanıcılar açısından da dolabı kullanmak oldukça zordur.



Şekil 12-13. **2 Numaralı Huzurevi İki Kişilik Oda Görseli** (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

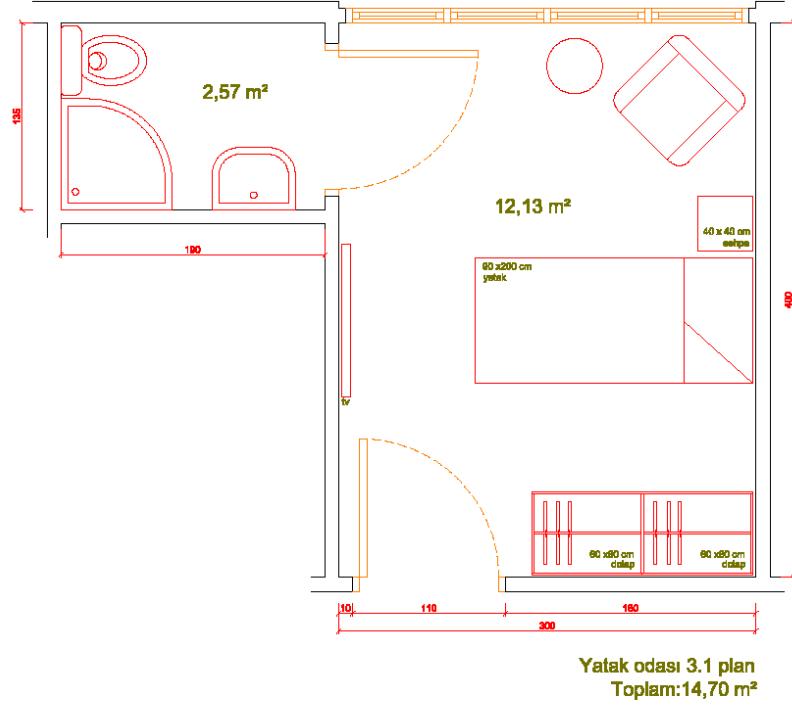
Şekil 14’de **2 Numaralı Huzurevi’ne** ait ıslak hacim ve tuvalet gösterilmektedir. Tuvaletin yanında kullanılan engelli kullanıcılara yönelik tutunma barı tek başına yetersizdir. Engelli kullanıcılara yönelik daha fazla eleman ve tutunma barı bulunmalıdır. Yer döşemesinde kullanılan seramik karolar kaygan özelliktedir ve tehlike arz etmektedir. Diğer taraftan, ıslak hacimde acil çağrı butonu olmadığı görülmektedir.

Şekil 15’de **2 Numaralı Huzurevi’ne** ait ıslak hacim mekânı lavabosu gösterilmektedir. Bu alanda engelli kullanıcılara yönelik hiçbir düzenleme yapılmadığı görülmektedir. Lavabo yüksekliğinin tekerlekli sandalye kullanıcılarına uygun olması gerekmektedir. Ayrıca lavabo yanına tutunma barı yerleştirilmemiştir. Ayna engelli kullanıcılar açısından oldukça kullanışsızdır ve ıslak hacimde acil çağrı butonu olmadığı görülmektedir.



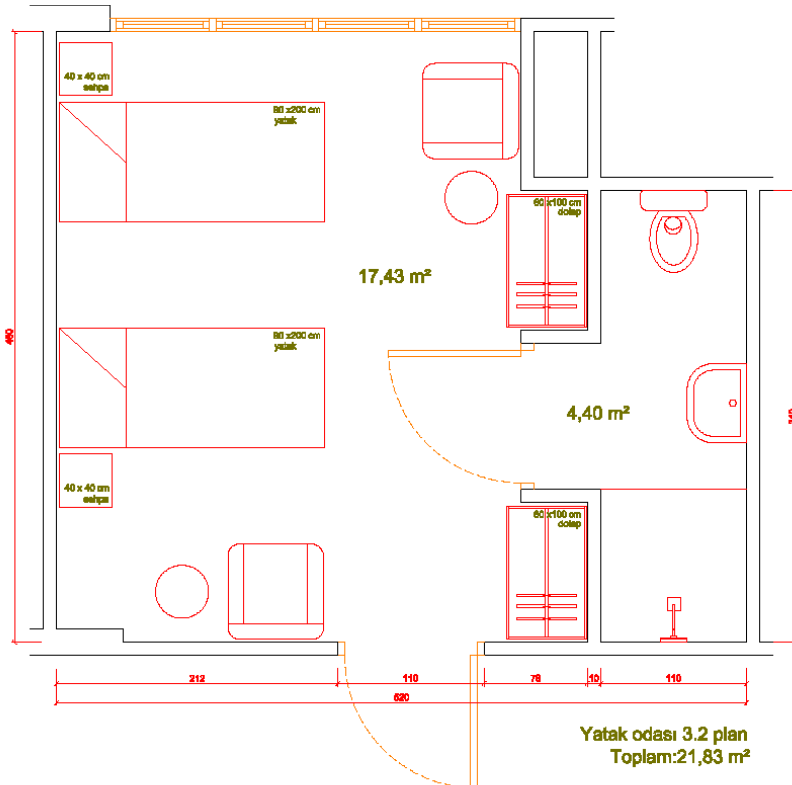
Şekil 14-15. **2 Numaralı Huzurevi Islak Hacim Mekânı Tuvalet ve Lavabo Görseli** (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 16'da **3 Numaralı Huzurevi'ne** ait tek kişilik yatak odası planı gösterilmektedir. Oda 12,13 m² yatma ve yaşam alanı ile 2,57 m² ıslak hacim olmak üzere toplam 14,70 m² toplam alandan oluşmaktadır. Odanın tek kişilik kullanıma ve engelli dolaşımına uygun olduğu görülmektedir. Odada kişinin kullanabileceği yatak, giysi dolabı, oturma elemanı ihtiyaçları mevcuttur. Yeterli pencere açıklığının sağlanmış olması da kişinin dış mekânla ilişki kurmasını ve gün ışığının olumlu etkilerinden yararlanmasına olanak sağlamaktadır. Buna karşın ıslak hacimde olası engelli kullanıcılar için düzenleme olmadığı görülmektedir. Bu durum önemli sorunlara ve engelli kullanıcı açısından çeşitli zorluklara sebep olacak bir eksikliklerdir.



Şekil 16. 3 Numaralı Huzurevi Tek Kişilik Yatak Odası Planı (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 17'de **3 Numaralı Huzurevi'ne** ait çift kişilik yatak odası planı gösterilmektedir. Oda 17,43 m² yatma ve yaşam alanı ile 4,40 m² ıslak hacim alanı olmak üzere toplam 21,83 m² alandan oluşmaktadır. Odada iki kişinin kullanabileceği yatak, giysi dolapları ve oturma elemanları mevcuttur. Pencere önüne konumlandırılmış yatak ve oturma elemanının engelli kullanıcıların erişimine engel teşkil edebileceği görülmektedir. Ayrıca yine ıslak hacimde bu kullanıcılara yönelik bir uygulama bulunmadığı görülmektedir.



Şekil 17. 3 Numaralı Huzurevi Çift Kişilik Yatak Odası Planı (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 18’de **3 Numaralı Huzurevi’ne** ait tek kişilik oda gösterilmektedir. Diğer İstanbul örnekleriyle karşılaştırıldığında standartlara en uygun örneğin bu olduğu gözlemlenmektedir. Öyle ki, geniş pencerelere sahip, cephede güneş kırıcıları olan, güneş ışığı alan, engelli dolaşımına uygun, zemin malzemesi doğru tercih edilmiş ve acil çağrı butonu gibi önemli elemanlar mevcuttur.

Şekil 19’da **3 Numaralı Huzurevi’ne** ait iki kişilik oda gösterilmektedir. Bu oda hasta ve yaşlı kişilere göre düzenlenmiştir. Öyle ki, yataklar yan taraflarında bariyerleri bulunan, sırt bölümü hareket ettirilebilen hastane tipi yataklardır. Çeşitli tıbbi cihazlar odada bulunmaktadır. Ancak bu tip odalarda gerekli mahremiyetin sağlanması için yatakların arasında bir ayırıcı bulunması gerekmektedir. Odada ki pencere açıklığı ve gün ışığı seviyesi uygundur

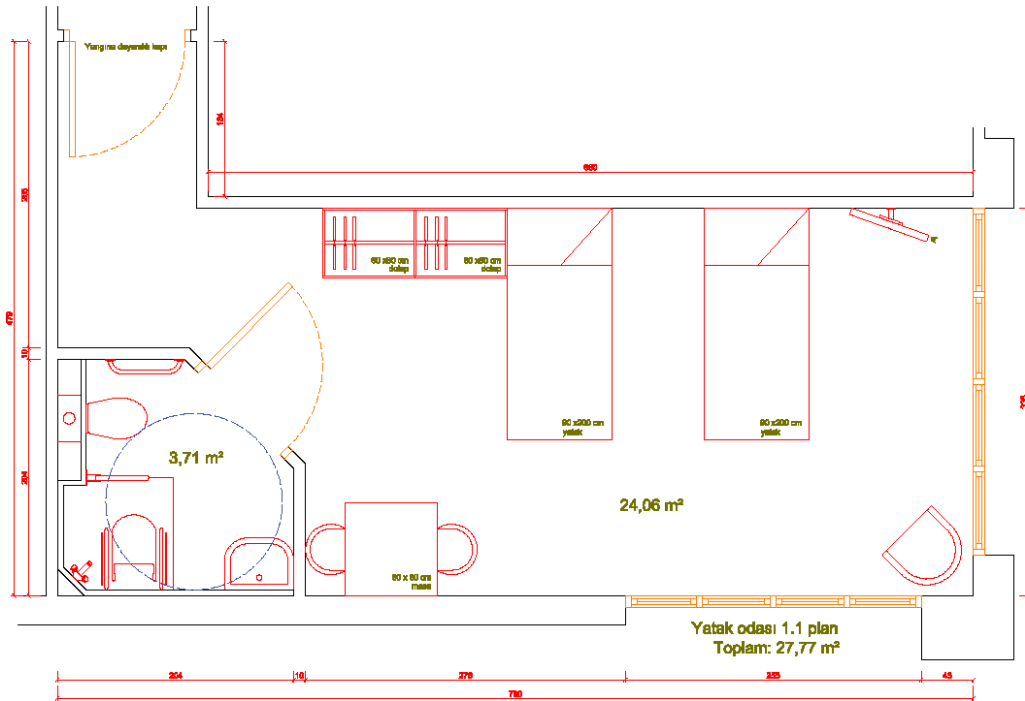


Şekil 18-19. 3 Numaralı Huzurevi Tek ve Çift Kişilik Oda Görseli (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

3.2.2. Brüksel Örnekleri

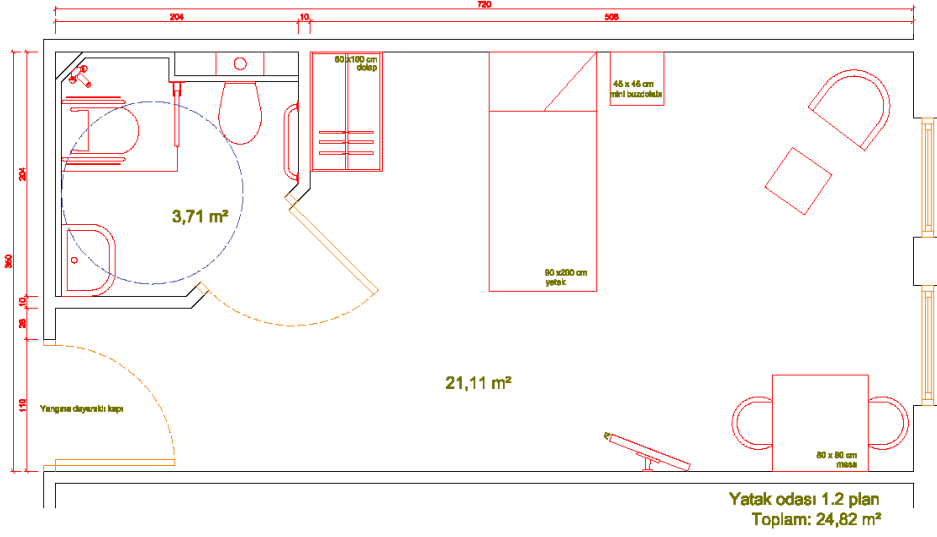
Çalışma kapsamında Brüksel bölgesinden 3 ayrı huzurevi seçilmiştir. Bunlar; Senior Assist Mouterij Huzurevi, Senior Assist Londerzeel Huzurevi ve Senior Assist Pleiades Huzurevidir. Seçilen huzurevleri birebir incelenmiş, yerinde yapılan ölçümler ve tespitler sonucunda yatak odası mekânlarının planlama şemaları çıkarılmıştır. Mekânlara ait planlar aşağıda sunulmuştur.

Şekil 20’de **Brüksel Senior Assist Mouterij Huzurevi’ne** ait çift kişilik yatak odası planı gösterilmektedir. Oda 24,06 m² yatma ve yaşam alanı ile 3,71 m² ıslak hacimden olmak üzere toplam 27,77 m² alandan oluşmaktadır. Oda çift kişiliktir ve iki kişinin kullanımına uygun yatak, giysi dolabı, masa ve sandalyeler içermektedir ve engelli kullanıcı dolaşımına uygun şekilde yerleştirilmiştir. Islak hacimde wc ve banyo alanlarında engelli kullanıcıya uygun düzenlemeler yapıldığı görülmektedir. Buna göre engelli kullanıcılar için tutunma barları bulunmaktadır ve duş alanı tekerlekli sandalyenin girebileceği şekilde tasarlanmıştır. Verilen kapı açıklıkları da tekerlekli sandalye geçişi için uygundur. Pencere açıklıklarının iki cephede de bırakıldığı görülmektedir. Bu durum gün ışığından daha fazla yararlanma olanağı vermektedir.



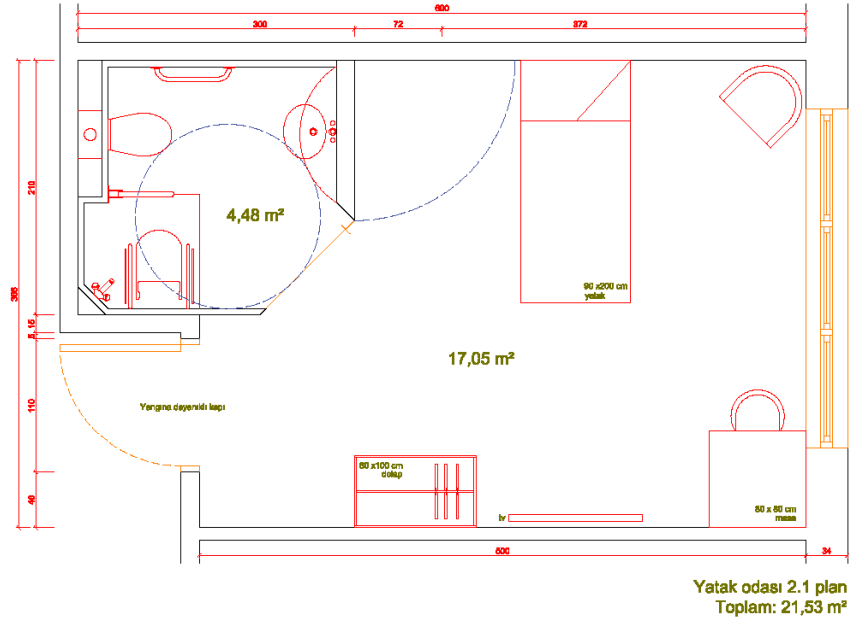
Şekil 20. Senior Assist Mouterij Huzurevi Çift Kişilik Yatak Odası Planı (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 21’de **Senior Assist Mouterij Huzurevi’ne** ait tek kişilik yatak odası planı gösterilmektedir. Oda 21,11 m² yatma ve yaşam alanı ile 3,71 m² ıslak hacim olmak üzere toplam 24,82 m² alandan oluşmaktadır. Oda tek kişinin kullanımına uygun yatak, giysi dolabı, oturma elemanı, masa ve sandalyeler içermektedir. Islak hacimde wc ve banyo alanlarında engelli kullanıcıya uygun düzenlemeler yapıldığı görülmektedir. Buna göre engelli kullanıcılar için tutunma barları bulunmaktadır ve duş alanı tekerlekli sandalyenin girebileceği şekilde tasarlanmıştır. Verilen kapı açıklıkları da tekerlekli sandalye geçişi için uygundur.



Şekil 21. **Senior Assist Mouterij Huzurevi Tek Kişilik Yatak Odası Planı** (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

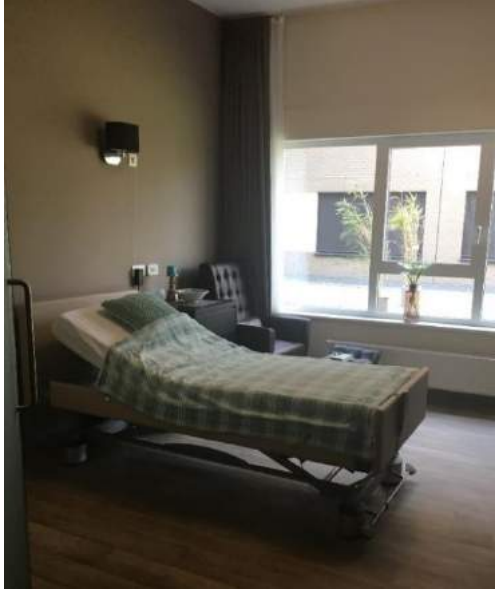
Şekil 22’de **Senior Assist Londerzeel Huzurevi’ne** ait tek kişilik yatak odası planı gösterilmektedir. Oda 17,05 m² yatma ve yaşam alanı ile 4,48 m² ıslak hacim olmak üzere toplam 21,53 m² alandan oluşmaktadır. Odada tek kişinin kullanımına uygun yatak, giysi dolabı, oturma elemanı, masa ve sandalye mevcuttur. Islak hacimde wc ve banyo alanlarında engelli kullanıcıya uygun düzenlemeler yapıldığı görülmektedir. Buna göre engelli kullanıcılar için tutunma barları bulunmaktadır ve duş alanı tekerlekli sandalyenin girebileceği şekilde tasarlanmıştır. Islak hacim içi dolaşım da engelli kullanıcılara uygundur. Lavabonun bağlı olduğu panel açılıp kapanabilir özelliktedir. Bu şekilde engelli kullanıcının ihtiyaçlarını daha rahat karşılaması sağlanmıştır. Kapı açıklıkları da bu açıdan uygun özellik taşımaktadır. Geniş pencere açıklığı da gün ışığından mümkün olduğunca çok faydalanmaya olanak sağlamaktadır. Pencereden gün ışığı güneş kırıcılar sayesinde gün içi rahatlıkla ayarlanabilir durumdadır.



Şekil 22. **Senior Assist Londerzeel Huzurevi Tek Kişilik Yatak Odası Planı** (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 23’de **Senior Assist Londerzeel Huzurevi’ne** ait tek kişilik yatak odası gösterilmektedir. Oda yaşlı bakım evleri standartlarına son derece uygundur. Pencere açıklıkları geniş ve gün ışığı girişine mümkün olduğunca olanak sağlamaktadır. Pencereden gün ışığı güneş kırıcılar sayesinde gün içi rahatlıkla ayarlanabilir durumdadır. Yatak, yaşlı ve hasta kullanıcılara uygundur. Pencere yanında kullanılan oturma elemanı kullanıcıyı rahat ettirecek ve dışarıyı izlemesine olanak sağlayacak özelliktedir. Oda tekerlekli sandalye dolaşımına uygundur. Zemin döşemesi kaymaz ve yumuşak özelliktedir. Odada tercih edilen renkler oldukça sade ve dinlendiricidir. Bu sayede kullanıcı odasını istediği şekilde kişiselleştirebilecektir. Acil çağrı butonu gibi önemli elemanlar mevcuttur.

Şekil 24'de **Senior Assist Londerzeel Huzurevi'**ne ait ıslak hacim mekânı gösterilmektedir. Bu örnekte ıslak hacim ile yatma alanını birbirinden ayıran panelin hareket ettirilebilir özellikte olduğu görülmektedir. Bu engelli kullanıcı açısından kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca iki mekânın birbirinden ayrıldığı noktada hem zemin bir geçiş olduğu görülmektedir. Bu engelli kullanıcı açısından çok doğru bir uygulamadır. Islak hacim zemin döşemesi de yine kaymaz ve yumuşak özelliktedir. Tuvalet ve duş alanlarında yeterli sayıda tutunma bari mevcuttur. Ayrıca acil çağrı butonu da bu alanda mevcuttur.



Şekil 23-24. **Senior Assist Londerzeel Huzurevi** Tek Kişilik Yatak Odası ve Islak Hacim Mekânı Görseli (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

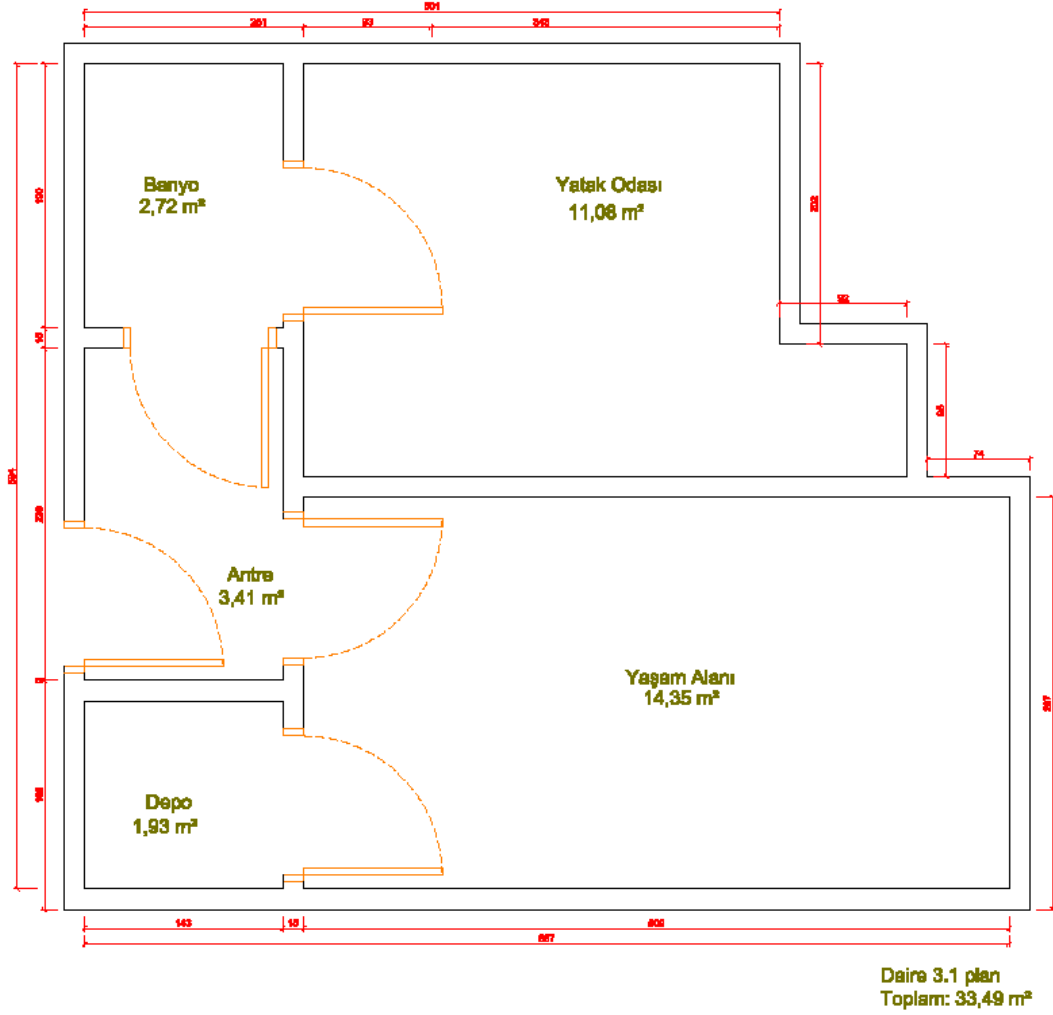
Şekil 25'de **Senior Assist Londerzeel Huzurevi'**ne ait ıslak hacim mekânı lavabosu gösterilmektedir. Lavabonun bağlı olduğu panel hareket ettirilebilir özelliktedir. Lavabo yüksekliği engelli kullanıcı açısından doğru ölçülerdedir. Ayrıca örnekte aynanın kullanım şekli de engelli kullanıcıya uygundur. Lavabo armatürleri de bu kullanıcılara uygun şekilde seçilmiştir.

Şekil 26'de **Senior Assist Londerzeel Huzurevi'**ne ait ıslak hacim mekânı duş alanı gösterilmektedir. Bu alanda kullanılan engelli kullanıcılara yönelik tutunma barlarının yeterli olduğu görülmektedir.



Şekil 25-26: **Senior Assist Londerzeel Huzurevi** Islak Hacim Mekânı Lavabo Görseli (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 27'de **Brüksel Senior Assist Huzurevi'**ne ait daire planı gösterilmektedir. Yaşlı bakım kurumları konusunda gelişen anlayışlar, yaşlıları mümkün olduğunca ev ortamında destekleme konusunun önemini ortaya çıkarmıştır ve bu örnekler yaygınlaşmaktadır. Bu örnekte bu tip bir anlayışla yapılmıştır ve yaşlının kendi ev ortamını sağlayabilmesi için daire mantığıyla planlanmıştır. Örnek oda planı, yatma ve oturma kısımları ayrılmış ev görünümünde birimlerdir. Aynı zamanda birkaç çeşit alternatif oda planı sunulmaktadır. Oda planı stüdyo daire biçiminde ve 33,49 m2 toplam alana sahiptir, otel ve hastane odasından çok farklılaştığı görülmektedir. Yatak ve yaşam mekânı ayrı olarak belirlenmiştir. Banyo ve wc yaşlıya uygun tasarımıdır. Depo düşünülmüş ve tek kişilik birimlerdir. İstenildiği zaman yalnız kalınabilen, istenildiği zaman da topluma veya aktivitelere katılımın mümkün olduğu görülmektedir.



Şekil 27. Senior Assist Pleiades Huzurevi Daire Planı (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

Şekil 28’de **Senior Assist Pleiades Huzurevi’ne** ait daire örneği gösterilmektedir. Bırakılan kapı açıklıklarının tekerlekli sandalye geçişine uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca koridorda bu kullanıcılara yönelik tutunma barı konulduğu görülmektedir. Yaşlı kişilerin hem kendi ev ortamlarında hem de kontrol altında yaşayabilecekleri bu örnekler yaygınlaşmaktadır.

Şekil 29’da **Senior Assist Pleiades Huzurevi’ne** ait daire ıslak hacim mekânı gösterilmektedir. Zemin döşemesinin kaymaz özellikte olduğu görülmektedir. Duş alanında engelli kullanıcılara yönelik tutunma barları mevcuttur. Lavabo ve ayna da aynı şekilde bu kullanıcılara uygun olarak kullanılmıştır.



Şekil 28-29. Senior Assist Pleiades Huzurevi Daire ve Islak Hacim Mekânı Görseli (Kaynak: Yazarın Kişisel Arşivinden)

4. Sonuç

Bu çalışmada; Türkiye (İstanbul) ve Belçika (Brüksel) daki özel kurum/şahıslara ait olan huzurevleri ve yaşlı bakım merkezleri standartları kapsamında örnek yatak odası mekânlarında yapılmış olan incelemeler (Zerrin Funda Üruk kişisel analizler, Nisan 2017) sonucu elde edilen veriler sayesinde, huzurevinde kalan yaşlıların ev ortamına en çok özdeşleştiği ve yoğunlukla kullandığı yatak odası mekânının planlama esnasında dikkat etmemiz gereken unsurlar tespit edilerek, gelecekte yaşlılar için daha yaşanabilir huzurevleri tasarlanmasına fayda sağlayacak öneri çalışmaları sunulmuştur. İki bölgedeki huzurevlerinde tek kişilik, çift kişilik veya üç kişilik örnek yatak odası mekânları üzerinde çalışılmış ve mekanların bölgesel ve kültürel standartlara göre uygunluk incelemesi yapılmıştır. Gözlemlenen bu durum çerçevesinde aşağıda belirtilen şu sonuçlar elde edilmiştir.

1. Türkiye yaşlı bakımı konusunda her ne kadar önemli bir geçmişe sahip olsa da maalesef ülkemizde bu hizmetin günümüz şartlarına ve AB standartlarına uygun yapılmadığı gözlenmiştir. Yaşlılık sorunları ile Türkiye’den çok daha önce karşılaşmış ve çözüm projeleri geliştirmiş, AB standartlarına sahip ülkelerden biri olan Belçika’daki huzurevlerinin yapılan tespitler sonucu; yaşlılara sağladığı hizmetler ve mekanların yaşamsal kalitelerinin yüksek düzeyde olduğu tespitlenmiştir.
2. AB standartlarına sahip ülkelerin hızla terk ettiği klasik huzurevi konseptinin maalesef halen ülkemizde uygulandığı gözlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu huzurevlerinde kalan yaşlıların kendi ev ortamlarını ve orada geçirdikleri yaşamı ve anılarını özledikleri görülmüştür. Bunun için huzurevlerindeki mekanların tasarımları yapılırken yaşlılara kendisini misafir gibi hissetmeyecekleri ve kendi evlerinde kalıyor duygusunu yaşatacağı mekânların tasarlanmasına dikkat edilmesi gereklidir.
3. Huzurevleri ve yaşlı bakım merkezleri anlayışı ve şartları geçmişten günümüze büyük gelişmeler göstermiştir ve göstermektedir. Buna göre eskiden yaşlıların kalabalık şekillerde, koğuş mantığıyla bakıldıkları mekânlarda bugün yaşlıların bireysel ihtiyaçlarına önem veren, bireysel ve insani şartları ve unsurları gözeterek mekânlar tasarlanmaktadır. Yatak odaları da bu süreç içerisinde oldukça gelişim göstermiştir. Son zamanlarda yaşlının kendi ev ortamı ve rahatlığında bakılması gerektiği anlayışı yaygınlaşmıştır. Huzurevleri de bu bağlamda oturma alanlarının, televizyonun, buzdolabının, kişisel ıslak hacim mekânlarının, vb. içinde bulunduğu yatak odası mekânlarına yönelmişlerdir.
4. Belçika-Brüksel örneklerinde gördüğümüz üzere yaşlıların yaşam standartlarını daha kaliteli olarak yükseltecek ve evrensel tasarıma uygun yatak odası mekanları tasarlandığı gözlenmiştir. Gözlemler sonucu;
 - Yatma ve ıslak hacim mekânı içerisinde kullanılan mobilyalar, yüzey malzemeleri ve aydınlatma ürünlerinin mekânsal şartlara, evrensel tasarım kriterlerine ve engelli kullanıcılara uygunluğu,
 - Yaşlıların daha iyi bir yaşam sürdürebilmesi için özel yatak ve ıslak hacim tasarımlarının yapıldığı,
 - Yatak odaları genellikle tek kişilik yapıldığı ve her odanın kendine ait ıslak hacim wc-banyo mekânı olduğu ve yaşlılara uygun tasarlandığı,
 - Wc-Banyo mekânında ve yatak başucunda hemşire butonlarının evrensel tasarım standartlarına uygun olarak yerleştirildiği,
 - Yatak odası pencerelerinin yüksekliklerinin oturma düzlemine göre ayarlandığı,
 - Kullanılan mobilyaların köşelerinin sivri olmaması, yuvarlak hatlarda ve mekân içi mobilyalarda kullanılan renklerin daha sıcak ve ev ortamını yansıtan özellikte olduğu,
 - Duvarların tek renk boya dışında yaşlıların psikolojine uygun olarak farklı desenlerde duvar kağıtları ile kaplanmış olduğu,
 - Yaşlı bakım kurumlarında yeni gelişen anlayışlar sonucu yaşlıları mümkün olduğunca ev ortamı psikolojisini destekleme konusunun önemini ortaya çıkarmak için yatak odalarının haricinde huzurevi konsepti içerisinde 1+1 daire tipi yaşama mekanları yapıldığı görülmüştür. Bu daire kullanıcıları bağlı olduğu huzurevinin sosyal hizmetlerinden komple yararlanabilmektedirler.
5. Türkiye-İstanbul örneklerinde gördüğümüz üzere ise; AB standartlarına sahip ülkelerin hızla terk ettiği klasik huzurevi konseptinin maalesef halen ülkemizde uygulandığı gözlenmiştir. Gözlemler sonucu;
 - Yatma ve ıslak hacim mekânı içerisinde kullanılan mobilyalar, yüzey malzemeleri ve aydınlatma ürünlerinin mekânsal şartlara, evrensel tasarım kriterlerine ve engelli kullanıcılara tam olarak uygunluğunda sıkıntı olduğu,
 - Tek kişilik oda sayısının azlığı ve m2 kullanımı olarak doğru tasarlanmamış olduğu ve daha çok 2 ya da 3 kişilik odalarda yaşlıların kaldığı,
 - Her odanın kendine ait ıslak hacim wc-banyo mekânı olmadığı,
 - Belli orandaki yaşlı nüfusun yataklarının standart bazalı yataklardan oluştuğu,
 - Wc-Banyo mekânında ve yatak başucunda hemşire butonlarının evrensel tasarım standartlarına uygun olarak yerleştirildiği,
 - Yatak odası pencerelerinin açılımı ve yüksekliklerinin iç mekân düzenine uygun olarak ayarlanmadığı,
 - Kullanılan mobilyaların yaşlı ve engelli bireylere uygun olarak tasarlanmamış olması,
 - Yatak odası mekânında ev ortamını hissettirecek ve aidiyet duygusunu arttıracak özelliklerin olmadığı,
6. Elde edilen sonuçlardan Türkiye’deki huzurevleri ile ilgili uluslararası standartlara bağlı ama kültürel normlara sadık kalınarak yeni bir yönetmelik üzerinde çalışılması önerilmektedir. Huzurevi tasarımları yapılırken hedef ise; mekânsal kalitenin iyi olduğu bu yapıların Türkiye genelinde yaygınlaşması olmalıdır ve bunun için Türkiye’deki huzurevlerinin yaşlının yaşam kalitesini maksimum ölçüde sürdürmek ve geliştirmek için modernize edilmesi gerekmektedir.

Kaynakça

Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı, Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Türkiye’de Yaşlıların Durumu ve Yaşlanma Ulusal Eylem Planı Uygulama Programı, Ankara, 2013
Berkin, G., Özcan, U., (2017), “Oturmanın Ergonomisi”, Yapı Dergisi (ISSN: 1300-3437, DAAI-Design and Applied Arts Index), Sayı: 426, s:140.

- Cai, H., Zimring, C., (2013), "Understanding cultural differences in nursing unit design with the support of spaces syntax analysis are Chinese nursing units designs different from their U.S. counter- parts?" In: Kim, Y.O., Park, H.T., Seo, K.W.(Eds.), Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium.Sejong University, Seoul, pp.1–24.
- Charness N., Dijkstra K. (1999), "Age, luminance, and print legibility in homes, offices, and public place", *Human Factors*, 41(2), 173193.
- Doğan Bulut, Z. (2014). Huzurevlerinde ve evde yaşayan yaşlılarda düşme ile ilişkili risk faktörleri. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), T.C. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Erkal, S. (2005). Kırıkkale Ovacık mahallesinde yaşayan 65 yaş ve üzeri kişilerin ev kazaları ile karşılaşma durumlarının ve kaza nedenlerinin incelenmesi. *Türk Geriatri Dergisi*, 8(1): 17-21.
- Hedge A.L., Rhodes R. (2010). "Assessment of lighting in independent living facilities and residents' perceptions", *Journal of Applied Gerontology*, 29(3)
- Kutsal Gökçe, Y. (2009). "Yaşlanan Dünyanın Yaşlanan İnsanları" GEBAM Yayınları, Ankara.
- Lök, N. & Akın, B. (2013, Şubat). Domestic environmental risk factors associated with falling in elderly. *Iranian Journal of Public Health*, 42(2):120-128.
- Mumcu Boğa, N., Özdelikara, A. & Ağaçdiken, S. (2015, Ocak). Huzurevindeki yaşlı hastalarda düşme davranışlarının belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 4(3): 360-372
- Özcan, U., Erol, İ., (2018), Organik Mimarlık, Dicle Üniversitesi I Uluslararası Mimarlık Sempozyumu, 4-6 Ekim, Diyarbakır, Türkiye.
- Özcan, U., Güngör, S., (2019), " Geleneksel Türk Evi ve Yapısal Özellikleri", İçinde: Kaya, Latif Gürkan (Ed.), 2019, Mimarlık, Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler - 2019 Haziran (ISBN: 978-605-7852-93-9), Gece Kitaplığı Yayınevi, İstanbul.
- Özel, Y., "Türk Evinde Sokağa Uzanan İç Mekanlar: Çıkmalar", 3. Uluslararası Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Konferansı, 02-05 Mayıs 2019, Berlin, Almanya
- Öztürk, T., Ürük, Z. F., Özel, Y., Uzgören, G., "Mekansal Elverişlilik ve Fiziksel Çevre Kalitesi Bağlamında Mekânsal Kalite Analizi", 2. Ulusal İç Mimari Tasarım Sempozyumu 2018, 06-07 Aralık 2018, Trabzon
- Peters Roderick, Nursing Homes Visit, roderick.peters@acalis.com (12.04.2017), zfuruk@gelisim.edu.tr (17.04.2017).
- Pülüm, E., Sökmen, Ü.N., Çevik Akyıl, R., Ongun, G. & Özdemir Cihangir, H. (2018, Ocak). Aydın Huzurevinde Düşme Riski Taşıyan Yaşlıların Belirlenmesi: Tanımlayıcı Çalışma. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 3(2): 9-14
- Türel, G. (2011) "Yaşlı Barınma Merkezlerinde Tasarımın Gelişmesi", *Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi*, Sayı 1, s.28-43.
- Uzgören, G., Öztürk, T., Ürük, Z. F., Özel, Y., "Kamusal Alanda Kentsel İç Mekanları Placemaking Süreci Üzerinden Okumak: "Project for Public Spaces" Derneğinin Çalışmalarının İncelenmesi", 2. Ulusal İç Mimari Tasarım Sempozyumu 2018, 06-07 Aralık 2018, Trabzon
- World Health Organization, World Report On Ageing and Health, Luxembourg, WHO Press, 2015, p.44.
- URL-1: http://www.totmdergisi.org/articles/2008/volume15/issue3/2008_15_3_15.pdf [Erişim tarihi 3 Haziran 2018]
- URL-2: <http://www.who.int/features/factfiles/ageing/en/> [Erişim tarihi 5 Eylül 2018]
- URL-3: http://im.businessht.com/2017/07/11/ver1499780755/1559934_1181177868afd88557875320dcb61040_orj.jpg [Erişim tarihi 5 Eylül 2018]
- URL-4: <http://www.who.int/ageing/publications/world-report-2015/en/> [Erişim tarihi 5 Eylül 2018]
- URL-5: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30567> [Erişim tarihi 5 Eylül 2018]
- URL-6: <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.4414&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch> [Erişim tarihi 5 Eylül 2018]
- URL-7: <https://www.aplaceformom.com/blog/history-caring-for-elders-08-06-2013/> [Erişim tarihi 5 Eylül 2018]
- URL-8: <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.4414&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch> [Erişim tarihi 5 Eylül 2018]
- URL-9: <https://wallex.wallonie.be/index.php?doc=21579> [Erişim tarihi 5 Eylül 2018]
- URL-10: http://e-kutuphane.teb.org.tr/pdf/tebakademi/geriatri_2009/5.pdf [Erişim tarihi 5 Ekim 2018]
- URL-11: <https://eyh.aile.gov.tr/yaslanma-2002-uluslararası-eylem-planı> [Erişim tarihi 5 Ekim 2018]
- URL-12: <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zel%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/248/Ya%20C5%9Flanma%20C3%96zel%20C4%B0htisas%20Komisyonu%20Raporu.pdf> [Erişim tarihi 5 Ekim 2018]
- URL-13: <https://sgb.saglik.gov.tr/Dkmanlar/T%C3%BCrkiye%27de%20Ya%C5%9Fl%C4%B1lar%C4%B1n%20Durumu%20ve%20Ya%C5%9Flanma%20Ulusal%20Eylem%20Plan%C4%B1.pdf> [Erişim tarihi 3 Ekim 2018]
- URL-14: http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1588 [Erişim tarihi 5 Ekim 2018]
- URL-15: <http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health> [Erişim tarihi 5 Ekim 2018]



Kente Kazandırılan Yeni Yaşam Alanları

Tolga Kayacan^{1*}, Yaprak Özel², Berna Kayacan³

¹ Şehir Plancısı, Dr. (ORCID: 0000-0003-0818-277X)

² İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6439-4817)

³ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0941-486X)

(İlk Geliş Tarihi 3 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.592411)

ATIF/REFERENCE: Kayacan, T., Özel, Y. & Kayacan, B. (2019). Kente Kazandırılan Yeni Yaşam Alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 679-687.

Öz

Göçebe hayattan yerleşik hayata geçişte, ilk yerleşim yeri olarak ticaret veya tarım için en uygun koşulların olduğu bereketli, su kıyılarının tercih edildiği görülmektedir. Zaman içinde nüfus artmaya başlamış, yeni göçler ile bu artış desteklenmiştir. Şehrin biçimlenmesindeki ana etkenler; sanayileşme, yeni kurulan sirkülasyon ağları, ticaretteki artış oluşturmuştur. Sanayileşme ile kurulan fabrikalar, hava ve kara sirkülasyon ağları gibi şehri diğer şehirler ile iletişime geçiren kamusal alanlar şehir hayatını aksatmayacak şekilde konumlanmıştır. Bazı şehirler ise kurulan fabrikaların yanında oluşmuş ve biçimlenmiştir. Tarım ile uğraşan toplumlar ise tarım arazileri ve ulaşım ağlarına yakın yerleri yerleşim için benimsemiştir. Şehirler bu şartlara bağlı olarak giderek genişlemiş ve yayılmıştır. Ancak teknolojik gelişmeler, sanayileşme, seri üretim teknolojileri gibi değişiklikler, bunların yanı sıra fabrikaların oluşturdukları kirlilik ve atıklar, yer altı kaynaklarının tükenmesi gibi değişimler geniş metrekareler kaplayan bu yapıları ve alanları kullanım dışı bırakmıştır. Bunların yanı sıra şehrin yayılması ile birlikte öncesinde şehrin dışında yerleşmiş olan bazı geniş metrekareli fonksiyonlar artık şehrin içinde kalmıştır. Aktif olarak işlevini devam ettiren bu fonksiyonlar (fabrikalar, ulaşım binaları gibi) ise ihtiyaca bağlı olarak yapılması gereken kendi iç büyümelerindeki gelişimi sağlayamamakta ve konumları nedeniyle de şehir sirkülasyonunda negatif bir etki yaratmaktadır. İşlevini yitirmiş olanlar ise atıl ve terk edilmiş bir şekilde kendi kendini tüketmekte ve şehir içinde istenmeyen bir alan haline gelerek, güvenlik açısından sorunlar oluşturmaktadır. Bu çalışmada, öncesinde şehrin dışında konumlanan ancak gelişmelere bağlı olarak şehrin içinde kalmış geniş metrekarelere sahip işlevini yitirmiş atıl kalmış alanların yeniden işlevlendirilmesi üzerine çalışılmıştır. Yeniden işlevlendirilerek kentin ve kentlinin hayatına katılan bu alanların önceki fonksiyonları ve yeni fonksiyonlarının neler olduğu araştırılmıştır ve kentliye ve kente katkı sağlayabilmesi için yapılan çözümler ve yöntemler, yurtdışı örnekleri üzerinden incelenmiştir. Sonuç olarak şehir merkezinde yer alan ve geniş metrekareler kaplayan, işlevsiz, mevcut bir alanın atıl halinden kurtarılıp yeniden yaşama aktarılması aşamasındaki ana etkenin ne olması gerektiği ortaya konmuştur. Sonuç bölümünde İstanbul kentindeki dönüşüm örnekleri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kent, Kamusal Alan, Tasarım.

New Regained Living Spaces of the City

Abstract

In the transition from nomadic life to settled life, it is seen that waterfronts are preferred as the first settlement for trade or agriculture. Over time, the population started to increase and increased with new migrations. The main factors in shaping the city; industrialization, newly established transportation routes, increased trade. Public spaces that connect the city with other cities, such as factories established by industrialization, air and land circulation routes, are positioned in a way that will not interfere with city life. Some cities are located next to the established factories. Communities engaged in agriculture have adopted areas close to agricultural land and transport networks for settlement. Depending on these conditions, cities have gradually developed and expanded. However, technological developments, industrialization, mass production technologies, pollution and wastes created by factories, changes such

* Sorumlu Yazar: Şehir Plancısı, Dr. ORCID: 0000-0003-0818-277X, tolga_kayacan@yahoo.com

as depletion of underground resources have left the buildings and areas covering these large square meters unusable. In addition, with the expansion of the city, some large square-meter functions, which had previously settled outside the city, are now in the city. These functions, which continue to function actively (such as factories, transportation buildings), cannot achieve the development of their own internal growth depending on the need and have a negative impact on the city circulation due to their location. Functions that cannot continue to function are self-depleted and abandoned and become an undesirable area in the city, causing problems in terms of security. In this study, it was aimed to reuse the idle areas which were previously located outside the city but have large square meters in the city due to the developments. By re-functionalization, the previous and new functions of these areas participating in the life of the city and the citizen have been investigated, solutions made to contribute to the citizens and the city were examined through examples from other cities. As a result, the main factor in the transfer of these areas in the city center from idle state to life has been revealed. In the conclusion part, some of the transformations in Istanbul are examined.

Keywords: Urban, Public Space, Design.

1. Giriş

Kentlerin kurulma sürecinde pek çok kent yaşamını destekleyen fonksiyon, kentin içinde meydanlarında ve yakın çevresinde (kenti besleyen fabrika, ulaşım binaları gibi) kent ile bağlantıları kurularak konumlanmaktadır. Kentlerin zaman içinde nüfus artışı gibi nedenlere bağlı olarak konut yerleşim ihtiyacının büyümesi ile birlikte, şehir genişlemekte büyümekte, özellikle geniş metrekarelere ihtiyaç duyan bazı fonksiyonlar (havaalanı, sanayi tesisleri, arıtma tesisleri, vb.) önceki yerleşimlerinde kent dışında veya yakın çevresinde kalırken artık şehrin merkez noktalarında kalmaya başlamışlardır. Kentin bu gelişimine bağlı olarak artan ihtiyaçlar da göz önünde bulundurulduğunda bu dış fonksiyonlar kendi içlerinde yetersiz kalabilmekte daha iyi hizmet sunabilmek amacı ile gelişmeye ve büyümeye ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, şehir yerleşimi içinde kalan geniş metrekarelere sahip kenti besleyen ancak yeterli olmayan bu fonksiyonlar, kurulan şehir aşamasında dışarda ancak gelişime bağlı olarak içerde, şehir merkezinde, sıkışan alanlarını bırakarak şehir yerleşimi dışında kalacak yeni yerleşimlerine geçmektedirler. Bunun sonucu olarak şehrin merkez noktalarında atıl kalan geniş metrekareli alanlar oluşmaktadır. Bu işlevini yitirmiş alanların şehirle entegrasyonunun yeniden sağlanması ve kentliye kazandırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada kent içinde kalan bu atıl alanların farklı kültürler ve yerleşimlerde kentliye nasıl kazandırıldığı örnekler üzerinden incelenmiştir. Şehirlerin gelişim süreçlerine bağlı olarak alanların önceki işlevleri, dönüşüm süreçleri ve yeni işlevleri ele alınmıştır. Kent yaşamı ve kültürel farklılıklar; kentin ve kentlinin ihtiyaçlarında farklılaşmaya neden olmaktadır. Örnekler üzerinde yapılan incelemelerde; bu alanların üzerinde bulunan mevcut yapılarından arındırılarak hizmet vereceği fonksiyonuna göre yeni yapılar inşa edilebildiği gibi, mevcut yapıları korunarak hizmet vereceği yeni fonksiyon hem alana hem mevcut yapılara yükleyerek de kent yaşamına entegre edildiği görülmektedir. Bazı alanlar ise tamamen temizlenerek kamusal açık alana dönüştürüldüğü görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kent ve Kentleşme

Kent sözcüğü kavramsal olarak incelendiğinde; Orta Asya Türklerince Şehir karşılığı olarak kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Soğdça'dan Türklerin diline geçen "kend" sözcüğü yaygın olarak kullanılmış: "Yarkend", "Taşkend", "Semizkend" (Semerkant) örneklerinde olduğu gibi birçok büyük şehirler bu adlarla adlandırılmıştır (Baykara, 2002).

Soğdlar, Doğu İran kavimlerinden ve zamanla Türklerin içine karışmışlardır. Eski Türklerde daha önceleri şehir kelimesi karşılığı olarak "Balık" kelimesi kullanılmaktadır. Balık kelimesinin günümüzde kullanılan "Balçık" kelimesi ile yakın ilgisi vardır. Çünkü eski Türk kentlerinde hâkim ve etkin unsur olan koruma amaçlı surlar balçıktan yapılmaktadır (Baykara, 2002).

Türk Dil Kurumu'na göre dilimize geçen şehir kelimesi de Farsça'da "şehir" kökeninden gelmektedir. Toplumumuzda Kent kavramı ile aynı anlamı ifade etmek üzere yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Arapça'dan dilimize geçen "vilayet" kelimesi; merkezi yönetimin, coğrafya durumuna, ekonomik şartlara, kamu hizmetlerinin gereklerine göre, ülke üzerinde yayılmış, bir vali yönetimindeki en önemli bölümü, "il" ile aynı anlamlıdır.

Bakış açısı değiştikçe kent tanımı da değişmektedir. Sosyologlar, tarihçiler, şehir plancılar, iktisatçılar, antropologlar, edebiyatçılar v.b. her bir disiplinin kendi kavrayışı üzerine bina edilmiş kent tanımı vardır. Nüfus büyüklüğü, idari statü, nüfusun yapısı, iş bölümü ve uzmanlaşma, örgütlenme biçimi, işlev alanlarındaki farklılaşma, iş gücünün sektörel dağılımı, heterojenlik, fiziksel doku, üretimin yapısı gibi ölçütler kullanılarak bu tanımlamalar yapılmaktadır (Dinçer, 1999).

Prehistorik dönemde, bir toplum olarak insan yerleşimleri ancak şu şartları yerine getirebilirse ayakta kalabilmekteydi: klan ya da toplum barınabiliyor ve kendilerini düşmanlardan ya da vahşi hayvanlardan koruyabiliyorsa; sadece günlük ihtiyacı karşılayacak kadar değil, diğer hasada kadar yeterli olacak depolayabilecekleri yiyecek yetiştirebiliyorsa (Adedeji, 2011).

Tarihi kayıtlara bakıldığında en eski yerleşim birimlerinin (belli aktivitelerin gerçekleşmesi; ticaretin yapılması gibi) ortaya çıkışı M.Ö. 6000-5000 yılları arasındadır. Eski yerleşim yerlerine göre gelişmiş sayılabilecek yerleşim yerlerinin ortaya çıkışı ise M.Ö. 4000 yılından itibaren (Altuntaş, 1997).

İlk kentlerin hangi şartlar ile oluştuğunu açıklamaya yetecek kadar delil olmamakla birlikte, bazı kuramcılar kentlerin oluşumunu açıklayabilecek bazı ön koşul ve temel mekanizmalardan bahsetmektedir. Tarımın kentlerin oluşumu için ön koşul olduğuna inanılmaktadır, kent fazla ürün için depolama imkânı sunmakta ve ölçek ekonomileri yaratmaktadır. Geleneksel görüş, kentlerin, tarımın yayılmasıyla birlikte Neolitik Devrim'den sonra gerçekleştiğini kabul etmektedir. Tarımın gelişmesi, avcı-toplayıcıların göçebe yaşam tarzını terk edip, tarımsal üretim yapan diğer insanların yanına yerleşmeye teşvik etmiştir. Tarım ile daha çok yiyecek elde edilmiş, bu da daha yoğun yerleşimleri olanaklı kılmıştır, yani kentsel gelişimi desteklemiştir. Tarım daha yoğun, yerleşik nüfusu getirmiş, depolama gerektiren üretim fazlası yiyecek de ticaretin başlamasını sağlamıştır. Bu koşullar kent yaşamının oluşması için önemli ön şartlar olarak görülmektedir (Url-1). Buradan hareketle kentlerin sulak ve verimli topraklarda ortaya çıktığı sonucuna varılabilmektedir.

İyi bir çevre ve güçlü sosyal organizasyon, başarılı bir kentin oluşumu için iki gerekliliktir. İyi bir çevre, temiz su kaynakları ve ürün yetiştirmek için uygun iklim koşullarını kapsamaktadır. Güçlü sosyal organizasyon ise, zor zamanlarda yeni oluşan kentin birlikte çalışmasını ve insanların kentin geleceği için çeşitli fonksiyonlar geliştirmesini (çiftçi, tüccar, vb.) sağlamaktadır (Url-1).

Sanayi devrimine kadar kentler, nüfus artış oranı çok düşük olan yaya kentleridir. Koruma amacıyla yapılan surlar içerisinde dar sokaklar ve küçük parseller ile yoğun bir yapılaşma söz konusudur. Sokaklar insan ve hayvan ulaşımı amacıyla kullanılmaktadır. Kent içi mekânda depolama alanları haricinde herhangi bir ayırışma görülmemektedir. Binaların giriş katları iş yeri ya da üretim atölyesi, üst katları ise konut olarak kullanılmaktadır (Enlil, 2011).

Sanayi öncesi kentinin ekonomisinin diğer yönleri, onun kendine özgü üretim biçimiyle ilgilidir. İşlerde çok az farklılaşma ya da uzmanlaşma vardır. Zanaatkarlar kimi loncaların ve topluluk kurallarının sınırları içinde, genelde işlerini evlerine ya da yakınlardaki küçük bir dükkâna taşıyarak, çalışma koşulları ve üretim yöntemleri üzerinde doğrudan bir denetime sahip olarak, neredeyse üretim sürecinin her aşamasına katılırlar (Sjoberg, 2002).

2.2. Sanayi Devriminin Etkileri

18. yüzyılın ortalarından itibaren yeni enerji kaynaklarının keşfedilmesi ile birlikte üretim ve ulaşımda önemli değişiklikler gerçekleşmeye başlamıştır. Kömür ve buhar enerjisinin kullanımı ile birlikte tarımsal üretimde verim artmaya başlamış, üretilen yeni araç-gereçler ve makineler ile birlikte sanayileşmenin önü açılmıştır. Daha önce hayvan gücü ile sağlanan ulaşımda, özellikle buhar gücünün kullanılmaya başlamasıyla birlikte daha uzun mesafeler kat edilerek yeni hammaddelere ulaşım ve daha uzun mesafede ticaret yapılmasının önü açılmıştır. Tüm bu gelişmeler Sanayi Devrimi olarak bilinen dönemi başlatmıştır.

Geleneksel el üretiminden makine üretimine geçilmesi ile birlikte tüketim malları artmaya ve çeşitlenmeye başlamıştır. Üretimin artması iş bölümü ve uzmanlaşma gibi kavramları da ortaya çıkarmıştır. Bu da toplumsal yapının karmaşıklaşmasına sebep olmuştur. El emeğine dayanan üretim işlerinde çalışan mavi yakalılar ve daha çok zihinsel güç ile masa başında çalışan beyaz yakalılar ortaya çıkmıştır.

Üretimin artması ile birlikte fabrikalar kurulmaya başlanmıştır. Fabrikalar çeşitli kriterlere göre yer seçimini gerçekleştirmiştir. Bazı fabrikalar işgücüne yakın olabilmek için kent içinde ya da kente yakın konumlarda yer seçerken, bazı fabrikalar ürettiği ürünleri satabilmek amacıyla pazara yakın, bazı fabrikalar ise hammaddeye yakın konumda yer seçimi yapmışlardır. Ancak fabrikalar kent içinde ya da kente yakın konumda kurulmasa da, fabrikada çalışacak işçilerin fabrikaya yakın olma istekleri ile birlikte fabrikalar etrafında yeni yerleşmeler oluşmaya başlamıştır. Bu yerleşmeler zamanla büyüyerek yeni kentler ortaya çıkmıştır.

Fabrikaların kurulması, oldukça fazla yeni istihdamın oluşmasına sebep olmuştur. Bu nedenle kırdan kente çok büyük oranlarda göçler yaşanmaya başlanmıştır. Sanayi Devrimi'nin başladığı Avrupa'da 14. yüzyılda nüfus artış hızı yaklaşık %2,5 iken, 1850 – 1950 yılları arasında bu oran %100'e çıkmıştır (Demir, 2018). Örneğin Manchester'ın nüfusu 1685 yılında 6000 kişi iken, 1760 yılında 40.000, 1801 yılında 72.000, 1851 yılında 300.000, 1900 yılında ise 600.000'e ulaştığı görülmektedir (Enlil, 2011).

Artan nüfusun yerleşimi için kent merkezlerinde yeterli konut bulunmaması nedeniyle tek ailelerin barındığı tek katlı konutlar yerlerini birden fazla ailenin yaşayabileceği apartmanlara bırakmıştır. Şehrin silüetinde değişimlere neden olmuştur. Barınma talebinin artması ve işçi nüfusun kent merkezinde fazlaşması ile birlikte zengin aileler kent merkezinden çeperlere doğru taşınmaya başlamış, merkezdeki konutlar işçi ailelere kiraya verilmeye başlanmıştır. Talebin yoğun olması, kiralarda artışa ve aynı konut içerisinde 60 – 70 kişiye varan yaşam koşullarına neden olmuştur. Kent sokaklarının dar, konutların birbirine yakın olması havasız, ışsız ve sağlıksız yaşam koşullarını da beraberinde getirmiştir. Kolera, tifo ve tifüs gibi hastalıklar giderek yayılmaya başlamıştır. Bu dönemde yerel ve merkezi hükümetlerin karışmaması, tüm gelişimin özel sektöre bırakılması ile plansız gelişimin de bu sağlıksız koşullara büyük katkısı olmuştur. (Laissez faire, laissez passe – Bırakın yapsınlar, bırakın geçsinler yaklaşımı).

Yüksek gelir grubunun merkezden banliyölere doğru kaçmasıyla birlikte, kent merkezi etrafında düşük gelir grubu, onun etrafında orta gelir grubu ve en dışarıda da yüksek gelir grubu şeklinde bir yerleşim modeli oluşmuştur.

Kentlerde var olan sağlıksız koşullar giderek kent yaşamını tehdit eder hale gelmiştir. Sağlıksız koşullar pek çok hastalığın endüstri kentlerinde salgın hale dönüşmesine neden olarak, kentlerde sık sık kitlesel ölümlere yol açmıştır. Ancak, sanayi kentlerinde yaşanan salgın hastalıklar yalnızca emekçi kesim için tehlike doğurmayıp çevre sorunlarının niteliği gereği, burjuvaziye de tehdit etmektedir. Nitekim bu salgınlar kentlerdeki endüstriyel üretim için artık bir sorun haline gelmiştir (Tekeli, 1980).

Bu dönemde ortaya çıkan Bahçe Kent, Güzel Kent, Geniş Kent (Broadacre City) gibi planlama yaklaşımları yer yer uygulansa da, soruna kalıcı çözüm getirememişlerdir. Sanayinin ve teknolojinin giderek gelişmesi ile ortaya çıkan yeni ürünler, yeni üretim modelleri

ve yeni ulaşım seçenekleri ile birlikte, sanayinin işgücüne yakın olması gerekliliği yavaş yavaş ortadan kalkmaya başlamıştır. Özellikle kent içinde bulunan sanayi, atölye vb. imalat tesislerinin kentin çeperlerine doğru yönelmesi ve bunu takip eden banliyöleşme eğilimlerinin güç kazanması kritik bir değişim evresine işaret eder. Bu anlamda iç kentlerin çöküntü alanları olarak ortaya çıkmasında kentlerin çeperlerine doğru büyüme eğilimi, merkezdeki iş alanlarının bölgeyi terk etmesi, orta-üst sınıfların yeni alanlara göçü vb. birçok faktörün birlikte rol oynadığı görülmektedir. Çöküntü mahalleleri olarak ifade edilen bölgeler; büyüyen işsizliğe bağlı olarak yaşanan iş kayıpları, artan sosyal dışlanma, fiziksel çöküntüleşme ve yoksulluk ile kötüleşen yaşam standartları gibi istenmeyen sonuçlar ile kentsel mekânların insansızlaşmaya başlayan alanları olarak ortaya çıkmaktadır (Şen, 2012).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Kentsel Mekânlar

3.1.1. Kullanılmayan Kentsel Alanlar

Kullanılmayan kentsel alan için yapılan tanımlar, genel olarak bu mekânların kökeniyle ve nasıl oluştukları ile ilgilidir. Ancak şehrin gelişimi sırasında boş tutulan araziler ile daha önce kullanılan ancak bir sebeple terkedilmiş araziler arasında önemli bir fark bulunmaktadır (Nefs, 2006).

Terkedilmiş alanlar çoğunlukla kentlerin tarihindeki çatlakları yansıtmaktadır, buna örnek olarak merkezdeki sanayinin çöküşü verilebilir. Önceki fonksiyonlarına bağlı olarak, terkedilmiş binalar kentin merkezinde, ya da bir nehir veya göl kenarındaki çekici bir noktada konumlanmıştır. Bu noktalar genel olarak fabrikaların yerleştiği noktalar (Graner, 2017).

Günümüz kentlerinde dokunulmamış binaların bir çoğu spekülasyon nedeniyle boş durumdadır, mal sahipleri mülkün değerinin artacağını ümit etmektedir. Piyasa fiyatları artana kadar binanın göz ardı edilmesi, binanın değerini otomatik olarak artırmamaktadır. Tam tersine, binanın kendi haline bırakılması, vandalizme maruz kalmasına ya da evsizler tarafından işgal edilmesine yol açabilmektedir. Kent bahçeleri gibi geçici kullanımlar, binanın ya da kentsel alanın imajının gelişmesinde olumlu bir etken olmaktadır. Binaların canlı görünmesi onları daha çekici kılmakta olup, kullanıcılar tarafından da bakımının yapılmasını sağlamaktadır. Geçici kullanıma yönelik resmi düzenlemeler, zaman çerçevesini ve fonksiyonu belirlemek için çok önemlidir, böylece geçici kullanımın durdurulması daha yumuşak bir süreçte gerçekleşir (Graner, 2017).

Kentteki boş alanlar, buralara yakın mahallelerin ihtiyaçlarına bağlı olarak farklı şekillerde kullanılabilir. Kent bahçeleri, kamusal ya da konut binaları olarak, mahallenin gelişimine katkıda bulunabilirler. Mahallenin daha önce karşılanmamış bir ihtiyacını karşılamak için kullanıldığında, bu boş alanlar, mahallenin yaşanabilirlik seviyesini de yükseltmektedir (Graner, 2017).

Kentin atıl bırakılmış olan bu mekânları kentlinin yaşamını etkileyecek, geliştirecek ve farklılaştıracak ortak bir yaşam alanına dönüştürülebilmektedir. Aktif bir sanayi ile etkin bir nüfusa sahip olan ancak sonrasında devre dışı kalan bu sanayi alanının kamuya fayda sağlayacak şekilde yeniden kazanılması ile terkedilmeye başlayan kent yeniden canlanabilmekte şehrin kalkınmasına ve tekrar tercih edilen bir yerleşim yeri olmasına da katkı sağlayabilmektedir. Yeniden bir cazibe merkezi haline gelen kent kalkınmaya ve yeniden yaşamaya başlamaktadır.

3.1.2. Kamusal Alanlar

Günümüzde halen kamusal alan ve kamusal mekân kavramlarının kesin bir tanımı yapılmamakla birlikte, geçmişte yapılmış bazı tanımlardan bahsedilebilmektedir. Jürgen Habermas, 1962 yılında yayınlanan “Kamusal Alanın Yapısal Dönüşümü: Burjuva Toplumunun Bir Kategorisi Üzerine Araştırmalar” adlı kitabında, kamusal alan tanımını ilk kez ele almıştır. Habermas kamusal alanı, özel şahısların, kendilerini ilgilendiren ortak bir mesele etrafında akıl yürüttükleri, rasyonel bir tartışma içine girdikleri ve bu tartışmanın neticesinde o mesele hakkında ortak kanaati, kamuoyunu oluşturdukları araç, süreç ve mekânların tanımladığı hayat alanı olarak tanımlamaktadır.

“Kamusal alan, modern toplum kuramlarında, toplumun ortak yararını belirlemeye ve gerçekleştirmeye yönelik düşünce, söylem ve eylemlerin üretildiği ve geliştirildiği ortak toplumsal etkinlik alanına işaret etmek için kullanılan kavramdır” diyen Habermas, her türlü çıkardan arınmış, devlet otoritesinin baskısı ve buyruklarından, sermaye egemenliğinden bağımsız bir alan tanımlamaktadır (Güney, 2007).

Oscar Negt ve Alexander Kluge, Habermas’ın burjuva kamusal alanına karşı çıkararak, kamusal alanı “mücadelenin savaş dışı yollarla karara bağlandığı” proleter alan olarak tanımlarlar. Richard Sennett ise, “Kamusal İnsanın Çöküşü” başlıklı kitabında kamusal alan kavramını; özgünlük ve entelektüel derinlikle kamusal hayat ve özel hayat arasındaki dengesizliğin nedenlerini ve bu dengesizliğin yol açtığı sorunları da irdeleyerek, batı Avrupa kentleri için, insanların belirli mekânlarda yoğun toplumsal ilişkiler kurma olanaklarına sahip olmaları olarak açıklamaktadır (Güney, 2007).

Kamusal alanların en önemli rollerinden biri kentsel gelişimi yönlendirmektir. Planlama uygulamasında, kentsel gelişmeler, piyasa mekanizması ile ya da bunun dışındaki kamusal alan stoğuyla kontrol edilebilmektedir. Kamusal alan, kamu yararı için, uygun yasal, yönetsel ve katılım mekanizmalarıyla kentsel gelişimi yönlendirmek için kullanılabilir. Kamusal alanın ikinci önemli rolü sağlıklı kentsel mekânlar yaratmaktır. Sağlıklı kentsel mekân yaratmak, sık kullanılan mekânlar ile nüfus yoğunluğu arasında dengeli bir ilişki sağlamak anlamına gelmektedir. Günümüz kentlerinde bu ilişki, mevcut yasalar ve düzenlemeler ile sağlanamamaktadır. Geniş alanlara

ihyaç duyan spor, sağlık ve eğitim kompleksleri ve rekreasyon aktiviteleri için mekan yaratmak, kamusal alan stoğu olmayan bir kent için mümkün değildir. Bu nedenle, kamusal alan bu problemin ozm için önemli rol oynamaktadır (Akkar, 1997: 29). Kamusal alanın kent planlamadaki nc rolü ise sosyal destek sağlamaktır. Kamusal alan, sosyal sınıflar arasındaki gerilimi azaltmada önemlidir. Devlet, kamusal alan stoğunu kullanarak sık kullanılan kentsel mekânlar sağlayabilir (Akkar, 1997: 30).

Farklı ülkelerdeki farklı kentler, terkedilmiş alanlarla kendi özel durumlarına göre ilgilenmektedir. İsviçre’de, kent plancıları kenti içinde geliştirmeye odaklanmıştır. Buna göre gelişim için daha fazla alan kente katılmayacak, böylece doğa korunacaktır. Kentler, mevcut kentsel mekânda alan aramaya ve boş alan veya binalara odaklanmaya zorlanmaktadır. Burada kentler için iki seçenek bulunmaktadır: Çok eski veya çok kk binaların yıkılması ya da yeni bir kullanım kazandırılması (dönüştürme). Bu eylemler maliyet etkin yöntemlerdir, ancak mekânların tarihini ya da kimliğini kaybetmesi riskini barındırmaktadır. Başarılı bir dönüştürme rneği olarak Zürih’teki eski Toni Süt İşleme Binası’nın eğitim, kültür ve konut alanına dönüştürülmesi verilebilir.



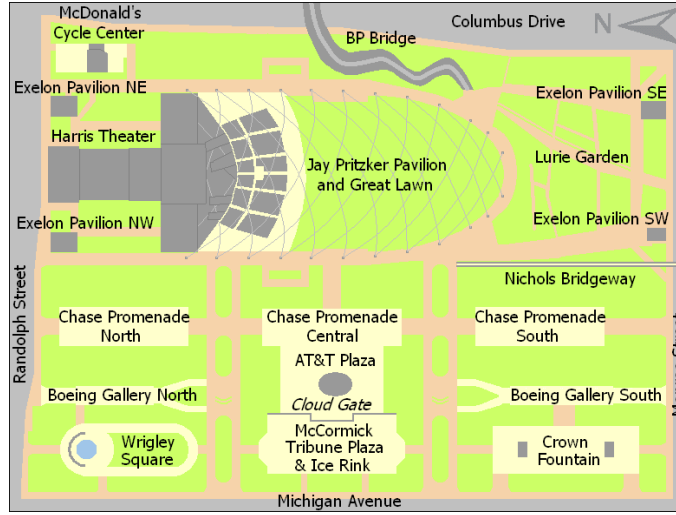
şekil 1: Toni Süt İşleme Binası 1976 (sol) ve günümüzdeki görünümü (sağ)

Almanya, eski sanayi alanlarının yıkılmadan ve miraslarını kaybetmeden yeniden kullanımı açısından iyi örneklere sahiptir. Yerli halkın çalışma hayatının kömür madenciliğine sabitlendiği Ruhr bölgesi, ülkenin 200 yıldan fazla bir süre boyunca sanayi merkezi olmuştur. Sanayiler bölgeden çekilip fabrikalar kapandığında, birçok fabrika binası koruma altına alınmıştır. Bu hukuki işlemler, bölgenin kültürel mirasının ve geleneksel görünümünün korunmasında büyük rol oynamıştır. Bu arada birçok sanayi yapısı kültürel merkez ya da konut olarak kullanılmıştır. Aachen’daki Widra Areal, konut alanına dönüştürülen pek çok fabrikadan biridir. Duisburg’daki eski sanayi bölgesi ise peyzaj parkına dnştrlmştir.



şekil 2: Widra Areal Aachen (sol) ve Duisburg peyzaj parkı (sağ)

Chicago’nun ticari kalbi olan Loop bölgesinde bulunan Millennium Park, 99.000 m²’lik bir alanı kaplamakta olup, devlet ve özel sektör ortaklığı ile yönetilmektedir. Yapımı için 475 milyon dolar harcanan ve 2017 yılında Chicago’nun ve Orta Batı Amerika’nın yıllık 25 milyon ziyaretçi ile en çok turist çeken noktası olan Millennium Park (Johnson, 2017), 1997 yılına kadar Illinois Central Railroad tarafından tren rayı fabrikası olarak kullanılmaktaydı. Daniel Burnham, 1909 tarihli Chicago Planı’nda Illinois Central Railroad’un etrafında Büyük Park’ı (Grant Park) planlamıştır. 1997 yılında kent, tren rayları üzerinde st kullanım hakkı elde edince, Büyük Park’ın kuzeybatı köşesinde rayların üzerine bir park yapılması kararlaştırılmıştır (Lewis, 2006). 1999 yılında kent konseyi, Frank Gehry tarafından park içerisinde bir konser ve gösteri alanı tasarlaması için görüştüğünü belirtmiştir. Gehry’nin projeye dâhil olması ile birlikte parkta modern temalar ve fütüristik öğeler tasarlanmaya başlanmıştır. 2004 yılında büyük bir tören ile park halka açılmıştır.



Şekil 3: Millennium Park haritası (www.wikipedia.org)



Şekil 4: Millennium Park'tan görünüm

Millennium Park'ı çevreleyen bölge, Chicago'daki en rağbet gören bölgelerden biri olmuştur. Forbes dergisi 2006 yılında parkın 60602 numaralı posta kodunu ülkedeki fiyat bakımından en sıcak bölge ilan etmiştir. Yine dergiye göre 2005 yılındaki 710.000 \$'lık konut fiyatları ile ülkedeki en pahalı posta kodu bölgelerinden biri olmuştur. Parkın açılması ile birlikte bölgede konut fiyatları metrekare başına 1076 \$'lık artış göstermiştir (Sharoff, 2006).

Yeniden kullanıma kazandırılan alanlar arasında özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra müttefikler tarafından kurulan askeri alanlar bulunmaktadır. Bazıları kent merkezinde bulunan bu geniş alanlar, kamu kullanımına kapatılmış ve bu yüzden kentin geri kalanından yıllarca kopuk kalmıştır. Son yıllarda bu alanlar geliştirilmeye ve kente entegre edilmeye konu olmaktadır. Zorlanılan kısım ise kırsallara, eğitim alanlarına ve diğer yapılara fonksiyon bulunmasıdır. Bamberg şehri, kentteki farklı askeri binaların, şehrin sakinlerinin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yeniden kullanımı için uğraş vermektedir. Bazı yapılar göçmenler için geçici barınak olarak kullanılmaktadır. Uzun dönemde ise amaç bu yapıları konut ve konutlara hizmet edecek okul ve mağazalara dönüştürmektir.

Bu örneklerle birlikte planlanmamış ve yatırım yapılmamış örnekler de mevcuttur. St. Louis'in kent çekirdeğinde, yoğun bir orman oluşmaya başladığı görülebilir. Hava fotoğraflarına bakıldığında, New York'taki Central Park'ı anımsatan, ancak daha çok ağaca sahip olan bir alandır. Alanı yoldan ayıran çitlerin yanından yürürken, kuş sesleri insana halen şehirde olduğunu unutturmaktadır. Bu orman Pruitt-Igoe konut projesinin de içinde olduğu terk edilmiş alanlarda ortaya çıkmıştır. Bu parseller şu anda görsel çekicilik yaratan, kent doğası ile etkileşim kurma imkânı veren, kent içi ısıyı azaltan ve fazla yağmur sularını tutan yeni ekolojilere ev sahipliği yapmaktadır (Nemeth, Langhorst 2014).

Bu örnekler kentten izole edilmiş örnekler değildir. Philadelphia, Detroit ve Chicago'da pek çok boş arsa, komşuların suladığı, temizlediği veya yalnızca günlük sohbetler ettiği, ayçiçekleri, kök sebzeler ve mısırlarla dolu geçici hobi bahçelerine dönüşmüştür. California Sebastopol'da bir otopark alanı haftada iki kez her çeşit organik yiyeceğin satıldığı bir pazar alanına dönüşmektedir (Schwarz, 2010).

İlkbaharda bir hafta sonu, uçuşlara kapatılmış ve terk edilmiş Berlin Tempelhof havaalanı yeniden ve kendi kendine bir enerji ile dolmuştur: binlerce insan bu büyük alanda kendilerine ait bir yer bulmuştur; piknik yapanlar, frizbi oynayanlar, spontane futbol maçları, müzik çalan amatör müzisyenler, mangal yapan aileler, kitap okuyan öğrenciler, sebze ve çiçek yetiştiren insanlar ve uçurtma uçuran

çocuklar. Bu aktivitelerin hiç biri geleneksel algı ile planlanmamış ya da programlanmamıştır, tam tersine bu aktiviteler, belediyenin bütçe kısıtlamaları ve yüksek inşaat maliyetleri nedeniyle alanı geliştirememesinden kaynaklanan plansızlıktan doğmuştur.

Resmi olarak 1923 yılında havaalanı olarak kullanılmaya başlanan Tempelhof Havaalanı, 1926 yılında kurulan Lufthansa Hava Yolları'na ev sahipliği yapmıştır. Eski terminal binası 1927 yılında yapılmıştır. Daha sonra Nazilerin kentin yönetimini ele geçirmesiyle birlikte, Adolf Hitler'in Berlin'i dünya başkenti "Germania" yapma hayalleri doğrultusunda 1934 yılında terminal binasının yenilenmesi emri verilmiştir. 1936 ve 1941 yılları arasında inşa edilen terminal binası 1,2 km'lik bir cepheye sahiptir ve İngiliz mimar Sir Norman Foster tarafından "tüm havaalanlarının anası" olarak nitelendirilmiştir. Hangarlar ile birlikte terminal 300.000 m²'lik bir alan kaplamaktadır.



Şekil 5: Berlin Tempelhof Havalimanı'ndan görünüm

Tempelhof Havaalanı 2008 yılında uçuşlara ve halka kapatılmıştır. İnsanların spontane bir şekilde havaalanını park olarak kullanmaya başlamasıyla birlikte, 2009 yılında hükümet de burayı park alanı olarak geliştirmeye başlamıştır. 2014 yılında yapılan bir referandumda halk buranın park olarak kullanılmasını istemiştir. 2015 yılı itibariyle havaalanının hangar binaları, genel olarak Suriye, Irak ve Afganistan'dan gelen göçmenler için barınak olarak kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta 1200 civarı olan göçmen sayısı 2018 ortalarına doğru 400'e kadar gerilemiştir. Günümüzde Tempelhof Havaalanı, uçurtma uçuranlara, patencilere, sanatçılara, bisikletçilere, sporculara, dansçılara ve müzisyenlere ev sahipliği yapmaktadır. 2018 Mayıs ayında Formula E yarışı burada düzenlenmiştir.

4. Sonuç

Tüm dünya kentlerinde geçmişte belli bir fonksiyona sahip olup, zamanla işlevini kaybetmesi ile terkedilmiş yapılar ve mekânlar bulunmaktadır. Bunların büyük bir kısmı inşa edildiği ya da kullanıldığı tarihte kentin dışında yer almış, ancak zaman içinde kentin gelişimi ve büyümesiyle kentin içinde kalmıştır. Kentin içinde yer alan ve bu kullanılmayan yapı ve alanların yeniden değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu yapı ve alanlar, kamu müdahaleleri ile yeniden değerlendirildiği gibi, halk tarafından da zaman zaman plansız şekilde kullanılmaya ve değerlendirilmeye başlanmıştır. Ancak kim tarafından değerlendirilirse değerlendirilsin, amaç bu yapı ve mekânları kamu kullanımına kazandırmaktır. Başka bir deyişle bu yapı ve mekânların kente yeniden kazandırılmasında insan faktörü en önemli unsurdur.

Bu alanları değerlendirirken, genel olarak kentin eksikliğini hissettiği fonksiyonları veya mevcudun yetersiz kaldığı fonksiyonları da göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Halkın kendi değerlendirmesinde ise genellikle kişilerin o mekânda ne olmasını istediği ya da o mekânda ne yapmak istediği ön plana çıkmaktadır. Kamunun değerlendirmesi seçeneğinde, kamunun son kullanıcı olan halkın da görüşlerini alması, bu mekânların etkili kullanımının sağlanmasında oldukça önemlidir. Böylece kent halkı daha mutlu ve huzurlu hissedecek ve kentsel alan kalitesinin artırılmasına katkı sağlayacağı gibi ekolojik dengenin korunmasına katkı gibi pek çok faydayı da sağlayacaktır.

Ülkemizde de bu tarz örnekler rastlanmaktadır. Özellikle İstanbul gibi nüfusun çok yoğun olduğu iş, konut ve yaşam alanlarının birbirine karıştığı ve bu fonksiyonların artan ihtiyaca cevap verebilmek için şehrin içinde kendilerine zorlukla yer bulduğu bir şehirde. Özellikle büyük şehirlerde, kentin içinde kalan bu mekânların arazi değerlerinin yüksek olması sebebiyle, yeniden değerlendirme sırasında bu mekânlar, rant kaygısına yenik düşmektedir. Bu noktada yeni işlevlendirme aşamasında önceden de bahsedildiği gibi fonksiyon seçiminde kamu tarafından tüm halkın kullanımında olacak bir takım çözümlere gidilmesi gerekliliği tekrar ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak İstanbul Mecidiyeköy'deki koruma altında olan eski Tekel Likör Fabrikası ve bitişiğindeki Ali Sami Yen Stadı'nın yıkılarak yerine konut, ofis ve alışveriş merkezi yapılması verilebilir. Bir diğer örnek olarak henüz işlevi net olarak belirlenmemekle birlikte İstanbul'daki Haydarpaşa Tren Garı'nın, Marmaray'ın tamamlanması ve hattın başka istasyonlara bağlanması sonucu fonksiyonunu yitirmesi ile birlikte atıl kalması. Medyada çıkan kimi haberlere göre bu yapı müze olarak değerlendirilecek, kimi haberlere göre ise yapı yıkılarak yerine otel ve rezidans yapılacaktır. Bu noktada daha önce belirtildiği gibi şehrin kimliğinin bir parçasını oluşturan tarihi değere sahip yapıların yıkılmadan uygun bir işlev ile halkla buluşturulması en uygun çözümü oluşturacaktır.

İstanbul'daki bir başka örnek ise yeni İstanbul Havalimanı ile birlikte mevcut Atatürk Havalimanı'nın fonksiyonunu yitirecek olmasıdır. 13 milyon metrekare alana sahip Atatürk Havalimanı için şu ana kadar yapılan açıklamalar, yapılarının fuar alanı olarak kullanılmaya devam edeceği, kalan kısmının ise yapılaşmaya açılmayarak millet bahçesi olarak değerlendirileceği yönündedir.

Dünya şehirleriyle ilgili istatistiksel raporlar yayınlayan World Cities Culture'in son raporunda (2019) İstanbul, sahip olduğu %2,2'lik yeşil alan ile değerlendirmeye giren 37 dünya kenti arasında son sırada yer almaktadır (Url-4). Büyükşehir Belediyesi yetkilileri, kişi başına düşen kent içi yeşil alan oranının 8,41 m² olduğunu belirtirken, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre İstanbul'da kişi başına 7,57 m² yeşil alan düşmektedir. Kişi başı 15 m² yeşil alan olan yasal sınırın altında kalan 30 ilçenin 6'sı 1 m², 21'i ise 8 m²'nin altında yeşil alana sahiptir. Bazı ilçelerde bu miktar %1'in bile altındadır (Url-5).

İstanbul halkı giderek büyüyen ve yaşamının giderek zorlaştığı bu megakentte nefes alacak mekânlara ihtiyaç duymaktadır. Özellikle Mecidiyeköy'deki stadyum ve fabrikanın yeniden değerlendirileceği haberleri duyulduğunda, halkın büyük çoğunluğu burada bir kent parkının yapılmasını istediklerini dile getirmiştir. Arazi üzerinde yapılaşmanın taban oturumu her ne kadar kısıtlı tutulsa da, bırakılan yeşil alan kentin ihtiyacını karşılamaktan oldukça uzaktır.

Ortak yaşama yeniden kazandırılacak alanların değerlendirmesi yapılırken mutlaka insan faktörü göz önünde bulundurulmalıdır. Kentin ihtiyaçları, son kullanıcı olan halkın ihtiyaçları çok iyi analiz edilmeli, halkın da bu konudaki görüşleri dinlenmeli ve dikkate alınmalıdır. Daha yaşanabilir, sağlıklı kentlerin elde edilmesinde bu çözüm büyük katkılar sağlayacaktır.

Kaynakça

- Adedeji, O.H., 2011. Human Settlement and Development Lecture Notes, UNAAB, Abeokuta, Nijerya.
- Akkar, M., 1997. "Kent Planlamasında Kamu Arazileri", Özelleştirme ve Kamu Arazileri içinde, ed. Serdar Karaduman, Gülten Kubin, Ankara: TMMOB Şehir Plancıları Odası Yayınları.
- Altuntaş, N., 1997. "Siyasal Katılımda Bir Değişim Modeli: Gecekonduklarda Araçsal Katılımdan Özerk Katılıma Dönüşüm", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Baykara, T., 2002. "Sosyal yapı ve Şehir Hayatı", Yeni Türkiye Dergisi, Mayıs-Haziran 2002
- Demir, E., 2018. "Sanayi Devrimi ve Kent", Kent Sosyolojisi Ders Notları, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Diñçer, Y., 1999. "Kent, Kentleşme ve Kent Planlaması, Sivil Toplum İçin Kent, Siyaset ve Demokrasi Seminerleri", Demokrasi Kitaplığı-WALD Yayınları, İstanbul.
- Enlil, Z., 2011. Kent ve Planlama Tarihi Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Graner, A., 2017. "Why should we deal with abandoned urban spaces?", <https://www.urbanet.info/abandoned-urban-spaces/>
- Güney, Z., 2007. "Kamusal Alan Nedir? Kamusal Mekan Nedir?" www.arkitera.com
- Johnson, S., 2017. "Millennium Park is new top Midwest visitor destination, high-tech count finds", www.chicagotribune.com
- Lewis, M.J., 2006. Gazete yazısı, The New York Times
- Nefs, M., 2006. "Unused urban space: conservation or transformation? Polemics about the future of urban wastelands and abandoned buildings". City & Time 2 (1): 4. [online] URL: <http://www.ct.ceci-br.org>
- Nemeth, J., Langhorst, J., 2014. "Rethinking urban transformation: Temporary uses for vacant land", Cities, vol.40, 143-150.
- Özcan, U., Erol, İ., 2018, "Sürdürülebilir Yerel Planlamada Coğrafi Bilgi Sistemi", International Journal Of Social And Humanities Sciences (ISSN: 2602-3288), Sayı:2, s:85
- Özcan, U., Dağdeviren, Z.S., (2019), "The Revitalization Of Urban Ruined Regions By Sustainable Design Thought Bronx / NY Sample", İçinde: Kaya, Latif Gürkan (Ed.), 2019, Research & Reviews in Architecture, Planning and Design - Summer, 2019 (ISBN: 978-605-7852-92-2), Gece Kitaplığı Yayınevi, İstanbul.
- Özcan, U., Caştur, Ş.N., (2019), " Spor Kompleksi Yapılarının Kültür Yapılarına Dönüşümü/ Avrupa Örneği", İçinde: Atik, Atilla, Kaya, Latif Gürkan ve Abbasova, Sehla (Ed.), 2019, Mimarlık, Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler - Mart 2019 (ISBN: 978-605-7631-54-1), Gece Kitaplığı Yayınevi, İstanbul.
- Öztürk, T., Üruk, Z. F, Özel, Y., Uzgören, G., "Mekansal Elverişlilik ve Fiziksel Çevre Kalitesi Bağlamında Mekânsal Kalite Analizi", 2. Ulusal İç Mimari Tasarım Sempozyumu 2018, 06-07 Aralık 2018, Trabzon
- Schwarz, T., 2010. "Temporary services for shrinking cities", Cleveland urban design collective, Kent State University, USA.
- Sharoff, R., 2006. "How a Park Changed a Chicago Neighborhood", The New York Times.
- Sjöberg, G., 2002. "Sanayi Öncesi Kenti", Ayten Alkan, Bülent Duru (Der. ve Çev.), s. 37-54, 20. Yüzyıl Kenti, İmge Yayınevi, Ankara.
- Şen, B., 2012. "Metropol Kent Merkezlerinde Çöküntüleşme Eğilimleri: İstanbul Eminönü – Süleymaniye Bölgesi Örneği", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Vol. 17, Sayı 2, s. 293-323.
- Tekeli, İ., 1980. "Türkiye'de Kent Planlamasının Tarihsel Kökleri, Türkiye'de İmar Planlaması", Mimarlık Fakültesi Yayınları, ODTÜ, Ankara.
- Uzgören, G., Öztürk, T., Üruk, Z. F, Özel, Y., "Kamusal Alanda Kentsel İç Mekanları Placemaking Süreci Üzerinden Okumak: "Project for Public Spaces" Derneğinin Çalışmalarının İncelenmesi", 2. Ulusal İç Mimari Tasarım Sempozyumu 2018, 06-07 Aralık 2018, Trabzon
- Üruk, Z. F, İslamoğlu, K.A.K (2019). Yüksek Binalarda Enerji ve Sertifikasyon Sistemleri İlişkisi., Kaya, L.G., Abbasova S. (Ed.), Mimarlık, Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler., (ss.59-68). Gece Akademi, Ankara Print ISBN 978-605-7631-54-1
- Üruk, Z. F, İslamoğlu, K.A.K. "Sürdürülebilir Konutlar ve Sertifikasyon Sistemleri", 2. Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Kongresi ENAR 2018, 14-16 Kasım 2018, Alanya, Türkiye

- Ürük, Z. F, İslamoğlu, K.A.K. “Relation of Sustainable Energy and Certification Systems In High-Rise”, 2. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, 19-20-21 Ekim 2018,Kızılcahamam Ankara, Türkiye
- Ürük, Z. F, İslamoğlu, K.A.K, Erol, İ. “Raylı Sistem İstasyonlarının Sürdürülebilirlik Kapsamında Mekânsal Dönüşümü”, 1. Uluslararası Mimarlık Sempozyumu 2018, 04-06 Ekim 2018, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye
- Ürük, Z. F, İslamoğlu, K.A.K. “Breeam, Leed Ve DGNB Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Standart Bir Konutta Karşılaştırılması”, European Journal of Science and Technology, sayı:15, Mart 2019, ss. 143-154, ISSN NO: 2148-2683, DOI : 10.31590/ejosat.512291
- Url-1: <https://courses.lumenlearning.com/boundless-sociology/chapter/urbanization-and-the-development-of-cities/>
- Url-2: <http://www.forbes.com>
- Url-3: <https://www.arkitektuel.com/parc-de-la-vilette/>
- Url-4: <http://www.worldcitiescultureforum.com/data/of-public-green-space-parks-and-gardens>
- Url-5: <https://www.gercekgundem.com/istanbul/64816/istanbulda-hangi-ilce-ne-kadar-yesil>



Altınapa Barajı Havzası'nda (Konya) Arazi Kullanımı

Recep Bozyiğit^{1*}, Baştürk Kaya²

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi, Konya, Türkiye (ORCID:0000-0002-9790-1168)

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi, Konya, Türkiye (ORCID:0000-0002-4801-4386)

(İlk Geliş Tarihi 1 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.590727)

ATIF/REFERENCE: Bozyiğit, R. & Kaya, B. (2019). Altınapa Barajı Havzasında (Konya) Arazi Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 688-700.

Öz

Bu çalışmada, Altınapa Barajı Havzası'nda mevcut arazi kullanımına etki eden coğrafi faktörler ile arazi kullanım özelliklerinin değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Konya şehrinin batısında yer alan havza, Meram Çayı'nın su toplama sahasından oluşmaktadır. Gerek doğal gerekse beşeri kaynak değerleri bakımından zengin olan Altınapa Barajı Havzası'nda, son yıllarda yanlış arazi kullanımı konusunda gözle görülür oranda hatalı uygulamalar gerçekleşmektedir. Arazi kullanımı konusundaki bu problemlerin hem geçmişten günümüze hem de yakın gelecekteki etkileri bakımından değerlendirilmesi, çözüm arayışları adına atılması gereken önemli bir adımdır. Dolayısıyla çalışma bu yönüyle oldukça önem arz etmektedir. Çalışmanın gerçekleştirilmesi için konu ile ilgili dokümanter kaynakların yanı sıra resmî kurumlardan temin edilen harita, istatistik ve raporlardan yararlanılmıştır. Veri toplama ve hazırlama sürecinden sonra saha çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar esnasında sahanın güncel arazi kullanım özellikleri belirlenmiş ve haritalandırılmıştır. Ayrıca arazi kullanımına etki eden süreçler ve etki değerleri yerinde gözlemlenerek kayıt altına alınmıştır. Çalışmanın tematik haritaları MapInfo 9.5 programı yardımıyla 1/100.000 ölçek detayında çizilmiştir. Son aşamada ise elde edilen tüm bilgiler Coğrafya biliminin ilkeleri doğrultusunda analiz edilerek bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, Altınapa Barajı Havzası'nda I. ve II. sınıf arazilerde kültür bitkilerinin seçim ve sulama tekniklerinde yanlışlıkların olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca VI. ve VII. sınıf arazilerin kuru tarım amaçlı kullanıldığı ve VIII. sınıf arazilerin de toprak olma özelliğini kaybettiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, yanlış arazi kullanımı yüzünden havza topraklarının %89,2'lik kesiminin zarar gördüğü anlaşılmıştır. Bu konuda yöre halkına, öncelikle Altınapa Barajı Havzası'nın potansiyel değerleri kavratılmalı, daha sonra da bu değerleri koruma ve kullanma yolu öğretilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Altınapa, Havza, Konya, Tarım, Arazi Kullanımı

Land Use in Altınapa Dam Basin (Konya)

Abstract

In this study, it is aimed to evaluate the geographical factors and land use characteristics that affect the existing land use in Altınapa Dam Basin. The basin, located to the west of Konya, consists of the water collection area of the Meram Stream. In the Altınapa Dam Basin, which is rich in both natural and human resource values, there have been noticeable faults in the wrong use of land in recent years. Evaluating these problems in the field of land use both from past to present and in the near future is an important step to be taken in the name of seeking solutions. Therefore, the study is very important in this aspect. In order to carry out the study, documents, sources and maps, statistics and reports obtained from official institutions were used. After the data collection and preparation process, field studies were conducted. During these studies, current land use characteristics of the site were determined and mapped. In addition, the processes affecting land use and their impact values were observed on-site and recorded. The thematic maps of the study were drawn in 1 / 100.000 scale detail with the help of MapInfo 9.5 program. In the last stage, all the information obtained was analyzed in accordance with the principles of Geography and this study was carried out. As a result of the study, it was found that there were inaccuracies in the selection and irrigation techniques of cultivated plants in the first and second class lands in Altınapa Dam Basin. In addition, the sixth and seventh class lands were used for dry farming and the eighth class lands lost their soil chara.

* Sorumlu Yazar: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi, Konya, Türkiye, ORCID:0000-0002-9790-1168, fethiye.kemer@gmail.com

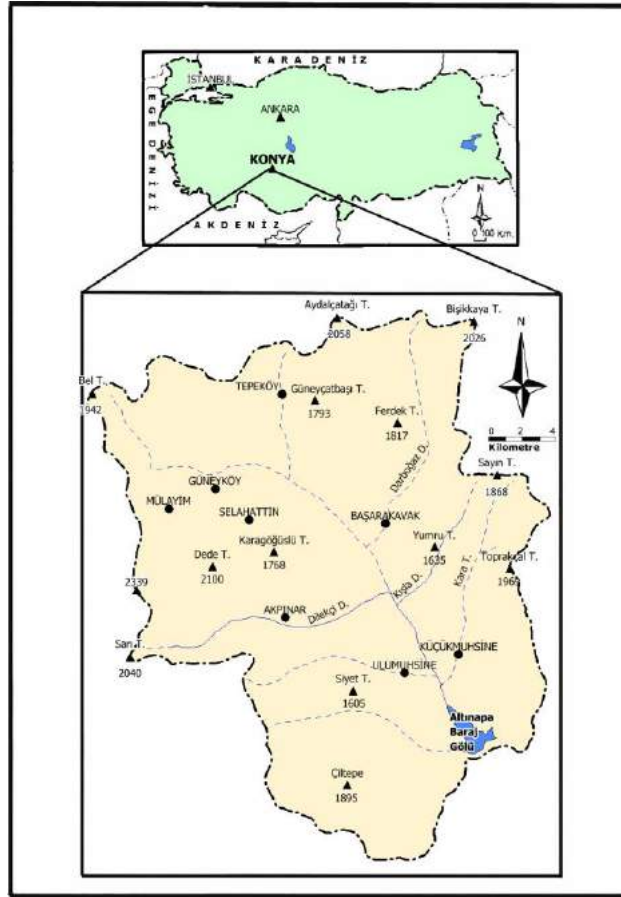
As a result, 89.2% of the basin soils were damaged due to wrong land use. In this respect, the potential values of Altınapa Dam Basin should be comprehended to people of this region firstly and then the way of protecting and using these values should be taught.

Keywords: Altınapa, Basin, Konya, Agriculture, Land Use

1. Giriş

Arazi kullanımında, son yıllarda insan faaliyetlerinin etkisiyle daha karmaşık ve olumsuz bir değişim yaşanmaktadır (Eroğlu ve Özşahin, 2018:193). Dünya üzerinde bu tür değişimlerin en belirgin görüldüğü coğrafyalardan biri Türkiye’dir. Tarihin ilk dönemlerinden beri yoğun bir şekilde insan faaliyetlerinin olumsuz etkisiyle şekillenen Türkiye coğrafyasında arazi kullanımı problemlerinin görüldüğü sahalardan birisi de Konya şehrinin batısında yer alan Altınapa Barajı Havzası’dır. Bu havza, Konya şehrinin içme ve kullanma suyunun sağlandığı önemli bir rezervuar sahasıdır. Bu sebeple havza alanında eskiden beri ağırlıklı olarak jeoloji, su kaynakları ve erozyon konusunda ciddi çalışmalar yapılmıştır. Ancak günümüzde havza alanı, su kaynakları ve erozyon açısından olduğu kadar arazi kullanımındaki yanlış uygulamalarla da dikkat çekmektedir. Dolayısıyla incelemeye değer olduğu düşünülen yanlış arazi kullanımı konusu, çalışmanın başlıca araştırma problemini teşkil etmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada, Altınapa Barajı Havzası’nda mevcut arazi kullanımına etki eden coğrafi faktörler ile arazi kullanım özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Araştırma sahası, İç Anadolu Bölgesi’nde Konya ili sınırları içerisinde yer alan Altınapa Barajı Havzası’dır (Şekil 1). $37^{\circ} 50'$ - $38^{\circ} 07'$ kuzey paralelleri ile $32^{\circ} 05'$ - $32^{\circ} 21'$ doğu meridyenleri arasında bulunan havza alanı, Meram Çayı’nın su toplama sahasına karşılık gelmektedir. Havzanın yüz ölçümü $562,2 \text{ km}^2$ ’dir. Havza alanı, kuzeyden Akdağ; doğudan Takkeli ve Gevele Dağları; güneyden Çaldağı ve Loras Dağı; batıdan da Aladağ (2239 m) ile sınırlanmaktadır.



Şekil 1. Araştırma Sahasının Lokasyon Haritası

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada konu ile ilgisi bulunan dökümanter kaynakların (Göğer ve Kıral, 1973; Hakyemez ve diğerleri, 1992; Selçuk Biricik, 1985; Güyer ve diğerleri, 1998; Bulduk ve diğerleri, 2006; Şenel ve Dalkılıç, 2016; Şenel ve Pehlivan, 2016; Bozyiğit ve Kaya, 2017; Bozyiğit, 2018) yanı sıra resmî kurumlardan temin edilen harita, istatistik ve raporlardan yararlanılmıştır. Veri toplama ve hazırlama sürecinden sonra saha çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar esnasında sahanın güncel arazi kullanım özellikleri belirlenmiş ve haritalandırılmıştır. Ayrıca arazi kullanımına etki eden süreçler ve etki değerleri yerinde gözlemlenerek kayıt altına alınmıştır. Çalışmanın

tematik haritaları MapInfo 9.5 programı yardımıyla 1/100.000 ölçek detayında çizilmiştir. Son aşamada ise elde edilen tüm bilgiler coğrafya biliminin ilkeleri doğrultusunda analiz edilerek bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

3.1. Arazi Kullanımına Etki Eden Coğrafi Faktörler

3.1.1. Doğal Faktörler

Altınapa Barajı Havzası'nda arazi kullanımı üzerinde etkili olan doğal kaynakların başında havzanın jeolojik özellikleri gelmektedir.

Altınapa Barajı Havzası'nda jeolojik birimlerin stratigrafik diziliminde dikkat çeken hususlar şunlardır: Karbonifer olarak adlandırılmış taban birim, kalkerlerle temsil edilmekte olup bunun üzerine Üst Permien yaşlı kristalize kalker ve mermerler konkordant olarak gelmiştir. Alt-Orta Trias yaşlı kalker, kumtaşı, konglomeraların üzerinde Trias-Jura'ya atfedilen dolomitik kalkerler yer almaktadır. Üst Miosen-Pliosen çökelleri ise birbirleri ile uyumlu olarak alttaki birimleri diskordant olarak örtmüştür. Kuaterner yaşlı alüvyonlar ise en üstte yer alır. Havzadaki litolojik birimlerden özellikle volkanitlerin aşınma karşı dirençlerinin zayıf olması, gevşek ve gözenekli yapıları ile de suyu alıp dağılma özelliği göstermeleri; arazi kullanımında olumsuzluklara yol açmaktadır.

Altınapa Barajı Havzası, Konya Kapalı Havzası içerisinde tali bir havza konumundadır. Havzanın şekillenmesinde tektonik ve flüvyal süreçler etkili olmuştur. Dolayısıyla havza alanında birbirinden farklı birtakım jeomorfolojik üniteler de meydana gelmiştir. Bunlar; dağlık ve tepelik sahalara, platoluk sahalara, vadiler ve vadi tabanı ovasıdır. Yer yer engebeli olan sahada yükseklik, 1250-2339 m arasında değişir. Havzanın batısı, dağlık bir yapıda iken; doğusu, plato sahalara ve bu sahalara birbirinden ayıran münferit tepelerden oluşmaktadır. Havzada farklı jeomorfolojik birimlerin varlığı; beraberinde yükselti, eğim ve bakı şartlarında farklılıkları da beraberinde getirmiştir. Bu durum arazi kullanımında ve arazi sınıflarının ortaya çıkmasında son derece etkili olmuştur.

Altınapa Barajı Havzası; zaman zaman güneyden Beyşehir-Suğla oluğundan sokulan hava kütlelerinin, bazen de kuzeyden gelen hava kütlelerinin etkisi altında kalmaktadır. Havzanın batı kesiminde Aladağ ve yüksek rölyefin etkisi ile karasal iklim görülmektedir. Yörede yağışlar alçak sahalarda yağmur, yüksek dağlık alanlar ile iç bölgelerde kar şeklindedir. Havzada; yarı kurak, birinci dereceden mezotermal, su fazlası yok, okyanus tesirine yakın iklim görülmektedir (Bozyiğit, 1998:76). İklim özellikleri; havzadaki toprak, bitki örtüsü ve hidrolojik unsurlar üzerinde etkili olmakta ve arazi kullanımına tesir etmektedir.

Altınapa Barajı Havzası'nı drene eden akarsular genellikle sel rejimli olup, periyodik karakterlidir. Altınapa Baraj Gölü, havzadaki arazi kullanımı üzerinde belirleyici etken olmaktadır. Öncelikle sulama amacıyla kullanılan baraj, Konya ilinin içme suyu ihtiyacının karşılanması ve taşkından korunması gibi konularda da fayda sağlamaktadır. Barajın gövde hacmi 975 000 m³, baraj kretinin talvegden yüksekliği 30,5 metredir. Barajdan alınan su ile sulanan alan 1400 hektardır. Aynı zamanda barajdan Konya ilinin içme suyu ihtiyacını karşılamak amacı ile senede 38 hm³ içme suyu alınmaktadır (Orhon ve diğerleri, 1993; D.S.İ., 2019: IV. Böl. Müd.). Altınapa Barajı Havzası'ndaki kaynakların büyük çoğunluğu, yamaç kaynağı özelliği gösterir ve bunların debileri oldukça düşüktür. Bu kaynakların bir kısmı akarsu ve dereleri beslerken bir kısmı da içme suyu olarak kullanılmaktadır.

Altınapa Barajı Havzası'nda Alüvyal, Kolüvyal, Kırmızımsı Kestane Rengi, Kireçsiz Kahverengi Orman, Kireçsiz Kahverengi, Kestane Rengi, Kahverengi Orman, Kırmızımsı Kahverengi ve Kahverengi topraklar olmak üzere 9 farklı toprak tipi görülmektedir. Bu topraklar genellikle kumlu bünyeli olup eğimi fazla mera alanlarında sığ; vadi ve ova tabanında kalın derinlikte profil vermektedir. Farklı ana materyal üzerinde meydana gelmiş olan topraklar; erozyona maruz kalarak sığlaşmış, arızalı bir durum almıştır (Bozyiğit, 2018:88).

Altınapa Baraj Havzası'nda yarı kurak iklim şartlarına uyum sağlamış farklı vejetasyon formları görülmektedir. Bu formlar; step, çalı ve orman vejetasyonu şeklinde sınıflandırılabilir. Hâkim bitki formunu, otsu türler ve bazı çalı türleri teşkil eder. Çalı vejetasyonu, Altınapa Baraj Gölü'nün doğu ve kuzeydoğusunda önemli bir alan kaplamaktadır. Ayrıca orman içi açıklıklarda, orman kenarlarında, ağaçlandırma sahalarda ve step sahalarda bazen münferit bazen de topluluk olarak yayılım göstermektedir (Bozyiğit-Kaya, 2017:293). Orman vejetasyonu, 1350-1800 metreler arasında yer almaktadır. Altınapa Barajı Havzası'nda arazi kullanımından en fazla etkilenen doğal bitki örtüsü orman vejetasyonu olmuştur. Havzanın farklı kesimlerinde tahribattan arta kalmış karaçamlar bizlere bu fikri vermektedir.

3. 1. 2. Beşerî Faktörler

Altınapa Barajı Havzası'nda 11 mahalle yerleşmesinin arazisi bulunmaktadır. Bu mahallelerden Mülâyim ile Güneyköy, Derbent ilçesine; Akpınar, Başarakavak, Küçükmuhsine, Selahattin, Sulutas, Tatköy, Tepekent ve Ulumuhsine, Selçuklu ilçesine; Dere, Meram ilçesine bağlı yerleşmelerdir. Tatköy, Sulutas ve Dere mahallelerine ait arazilerinin bir kısmı, diğer mahallelerin arazilerinin tamamı havza içerisinde kalmaktadır. Havzada 2018 yılı sonu itibarıyla 12 501 kişi yaşamaktadır (TÜİK, 2019). Nüfusun mahallelere dağılımında; Tepekent (4196 kişi), Dere (3804 kişi), Tatköy (1466 kişi) ile Başarakavak (1235 kişi) mahallelerinin en çok nüfuslu mahalleler olduğu dikkat çekmektedir. Bu mahalleleri Mülâyim (459 kişi), Sulutas (375 kişi), Akpınar (339 kişi), Selahattin (235 kişi), Küçükmuhsine (221 kişi), Ulumuhsine (115 kişi) ve Güneyköy (65 kişi) izlemektedir (TÜİK, 2019: Tablo 1). Nüfus miktarının havza yüz ölçümüne göre az olduğu görülmektedir. Bu durum bizleri yanıltmamalıdır. Yıllardır Altınapa Barajı Havzası'ndaki yerleşmelerden Konya şehrine yoğun göç yaşanmış ve bu mahallelerdeki halkın çoğu Selçuklu ve Meram ilçelerinde ikamet eder hale gelmiştir. Ancak bu kişilerin taşınmazları içerisinde olan mesken ve arazileri, havzadaki konumlarını korumuşlardır. Günümüzde Konya'da ikamet eden

insanların havzadaki tarımsal ve hayvansal faaliyetlerini sürdürdükleri tespit edilmiştir. Bu durum havzaya olan baskının artmasında etkili olmaktadır.

Altınapa Barajı Havzası, Konya şehrinin içme ve sulama suyu havzası olması nedeni ile koruma altına alınmıştır. Bu çerçevede baraj gölüne en yakın mesafede olan Değirmenköy kaldırılarak Konya'ya taşınmıştır.

Tablo 1. Altınapa Barajı Havzasındaki Yerleşmeler ve Nüfus Miktarları-2018

Mahalleler	İlçe	Nüfus
Tepekent	Selçuklu	4196
Dere	Meram	3804
Tatköy	Selçuklu	1466
Başarakavak	Selçuklu	1235
Mülayim	Derbent	459
Sulutas	Selçuklu	375
Akpınar	Selçuklu	339
Selahattin	Selçuklu	235
Küçükmuhsine	Selçuklu	221
Ulumuhsine	Selçuklu	115
Güneyköy	Derbent	65
TOPLAM		12501

Kaynak: <http://www.tuik.gov.tr/Start.do>, 20.04.2019

Altınapa Barajı Havzası'nda mahalle yerleşmeleri dışında 52 yayla, 12 ağıl ve 3 dam yerleşmesi bulunmaktadır. Havzada yaylaların bir kısmı sadece bir tek aileye aitken; birden fazla aileye ait yaylalar da mevcuttur. Yaylaların kurulduğu yerler genellikle vadi ve dağ yamaçlarıdır. Söz konusu yaylaların burada kurulmalarındaki en büyük etken, su kaynaklarının mevcudiyetidir. Havzada görülen yaylacılık faaliyeti dikey yönlüdür. Yayla yerleşmeleri 1300 m ile 1850 m yükseltileri arasında yer almaktadır. Yaylalara Nisan-Mayıs aylarında çıkılmakta, Ekim-Kasım aylarında ise geri dönlülmektedir. Bunun yanında sürekli yerleşim şekline dönüşmüş yaylalar da bulunmaktadır.

Altınapa Barajı Havzası'nda bir diğer köy altı yerleşim tipi ağıl yerleşmeleridir. Ağıl yerleşmeleri daha ziyade dağ yamaçlarında, 1300 m ile 1900 m arasında yer almaktadır. Havzada çok az sayıda dam yerleşmesi bulunmaktadır. Dam yerleşmeleri 1300-1700 m yükseltileri arasındadır.

Altınapa Barajı Havzası'nda küçükbaş mera hayvancılığı yaygın olarak yapılmaktadır. Havzada 2018 yılı verilerine göre; çoğunluğu koyun olmak üzere toplam 54 689 küçükbaş hayvan varlığı tespit edilmiştir (Selçuklu, Derbent, Meram Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müd., 2019). Bu durum arazi kullanımı üzerinde baskı oluşturmaktadır.

3.2. Arazi Kullanım Özellikleri

3.2.1. Arazi Kullanımında Meydana Gelen Değişmeler (1992-2018)

Milyonlarca yıllık jeolojik oluşum süreci sonunda ortaya çıkan doğal denge; yeryüzünde insanın ortaya çıkması, çoğalması sonucunda bozulmaya başlamıştır. Bu bozulmada, arazi kullanımında yapılan yanlışlıkların da önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir. Dünyada ve Türkiye'de yanlış arazi kullanımı sonucunda kuraklık, çölleşme, erozyon, sel baskınları, göç olayları yaşanmakta ve yaşanmaya da devam etmektedir. Türkiye'nin farklı yörelerinde arazi kullanımına yönelik önemli çalışmalar yapılmıştır (Özdemir ve Bahadır, 2008; Gülersoy, 2014; Özşahin, 2014; Kurt, 2015; Ekinci, 2016; Kurt ve Duman, 2016). Bu çalışmada da Altınapa Barajı Havzası'nda arazi kullanımındaki değişimler ve sonuçlarına yer verilmiştir.

Altınapa Barajı Havzası'nda arazi kullanımındaki değişmeler; *Konya İli Arazi Varlığı* kitabı ile Derbent, Selçuklu, Meram İlçe Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüklerinden elde edilen veriler ışığında değerlendirilmiştir.

Altınapa Barajı Havzası'nın 1990 yılı öncesine ait arazi kullanım durumu, *Konya İli Arazi Varlığı'ndan* elde edilen verilerle oluşturulmuş arazi kullanım haritasına göre ortaya konmuştur. Bu verilere göre havza yüz ölçümü 562,2 km²'dir (Şekil 2). Araştırma sahasında mera alanı, % 43,0 (241,8 km²) oranı ile havzanın en geniş kısmını oluşturmaktadır (Tablo 2). Mera alanları, havzanın doğu kesiminin tamamına yakın bir bölümünde görülmektedir. Havzanın kuzey ve batısındaki yüksek kesimlerde de mera alanları yaygındır. Bu sahalar dışında Karagöğüslü Tepesi (1768 m) doğusunda ve Çaldağı'nın kuzey kesimlerinde münferit dağılış göstermektedir. Mera sahalarının hâkim bitki türleri; Pelin (*Artemisia santonicum*), Geven (*Astragalus angustifolius*), Parlak Geven (*Astragalus nutans*), Spil kekiği (*Thymus spyleus*), Adaçayı (*Salvia sp.*), Üzerlik (*Paganum harmala*), Tarla sarmaşığı (*Convolvulus arvensis*), Sütleşen (*Euphorbia macroclada*), Gelincik (*Papaver rhoea*), Meşe yumağı (*Festuca valesiaca*), Yumrulu salkım otu (*Poa bulbosa*), Ayrık otu (*Dactylis glomerata*), Buzağılık (*Stipa arabica*)'tır. Çalı türleri arasında Alıç (*Crataegus orientalis*), Yabangülü (*Rosa canina*), Böğürtlen (*Rubus discolor*), Keçi bademi (*Amygdalus orientalis*), Muşmula (*Cotoneaster nummularia*), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia*), Kiraz eriği (*Prunus divaricata*) yer almaktadır.

Araştırma sahasında orman alanı olarak kullanılan kesimler, havzanın % 23,4 (131,8 km²) oranı ile mera alanlarından sonra ikinci sırada yer kaplamaktadır. Orman alanlarının havzanın batı ve güneyinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ormanlar; Aladağ'ın doğu yamaçlarında, Dilekçi Deresi Vadisi'nin kuzey ve güneyinde, Çaldağı'nın kuzey yamaçları ile Uluçay Vadisi'nin yukarı kesimlerinde münferit olarak görülmektedir. Orman alanlarında görülen başlıca ağaç türleri arasında Katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*), Boylu ardıç (*Juniperus excelca*), Kokulu ardıç (*Juniperus foetidissima*), Saplı meşe (*Quercus robur*), Tüğlü meşe (*Quercus pubescens*), Saçlı meşe (*Quercus cerris*), Karaçam (*Pinus nigra*), Sarıçam (*Pinus slyvestris*) ve Sedir (*cedrus libani*) dikkat çekmektedir.

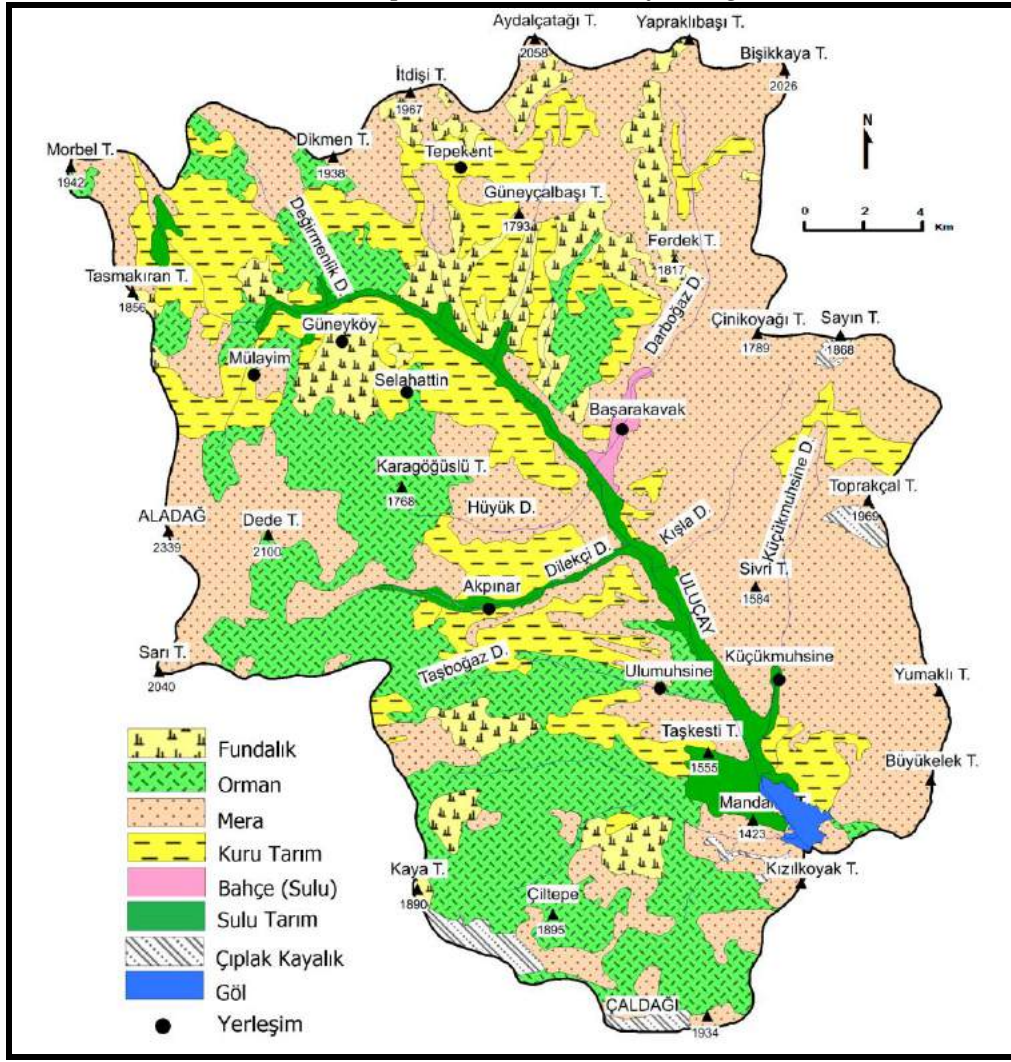
Tablo 2. Altınapa Barajı Havzası'nda Arazi Kullanımı-1992

Arazi	Alan (Km ²)	%
Fundalık	47,2	8,4
Orman	131,8	23,4
Mera	241,8	43,0
Kuru Tarım	104,3	18,6
Bahçe (Sulu)	2,2	0,4
Sulu Tarım	23,2	4,1
Çıplak Kaya	7,3	1,3
Göl	2,5	0,4
Yerleşim	1,9	0,3
TOPLAM	562,2	99,9

Kaynak: T.C. Tarım ve Köy. Bak. Köy. Hiz. Gn. Müd., 1992

Altınapa Barajı Havzası'nda kuru tarım alanı olarak kullanılan saha, havzanın % 18,6'lık (104,3 km²) kısmını kaplamaktadır (Tablo 2). Kuru tarım alanları genellikle mera ve orman alanları içerisinde münferit dağılışı göstermektedir. Kuru tarım alanları; Mülayim Mahallesi'nin kuzey ve güneyinde, Dikmen Tepe (1938 m) güneyinde, Tepekent Mahallesi'nin doğu ve kuzeydoğusunda, Toprakçal Tepe (1959 m) kuzeyinde, Akpınar Mahallesi'nin kuzey ve güney kesimlerinde, Taşkesti Tepesi'nin batısında, Altınapa Baraj Gölü'nün kuzeydoğusunda yer almaktadır. Havzada; Toprakçal T. (1959 m) kuzeyi, Dikmen T. (1938 m) güneyi, Taşkesti T. batısı dışında kalan kesimler, VI., VII. sınıf arazilerdir. Bu arazilerde tarım yapılmaması gerektiği halde kuru tarım yapıldığı görülmektedir. Hâlbuki VI. ve VII sınıf arazilerin korumalı olarak mera ve orman alanı olarak kullanılması gerekirdi.

Araştırma sahasında fundalık kesim, havzanın % 8,4'lük (47,2 km²) kısmını kaplamaktadır. Havzada fundalık alanlar; Tepekent Mahallesi'nin kuzeyi ve güneyinde, Güneyköy'ün güneyinde, Darboğaz Vadisi'nin batı yamaçlarında, Kaya Tepe (1890 m) çevresinde görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Altınapa Barajı Havzası'nda Arazi Kullanım Haritası (Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Müdürlüğü, 1992'den).

Araştırma sahasında sulu tarım olarak kullanılan alan havzanın % 4,1'lik (23,2 km²) kısmını kaplamaktadır. Havzada sulu tarım, Uluçay ve Dilekçi vadi tabanları ile havzanın kuzeybatı kesiminde dar bir sahada yapılmaktadır (Şekil 2). Sulu bahçe olarak % 0,4'lük (2,2 km²) alan kullanılmıştır. Sulu bahçe, Darboğaz Deresi'nin yukarı ve aşağı kesimindeki vadi tabanında yapılmaktadır.

Havzada çıplak kayalıklar; % 1,3 (7,3 km²), baraj gölü % 0,4 (2,5 km²), yerleşim alanları % 0,3'lük (1,9 km²) oran teşkil etmektedir.

2018 yılındaki Altınapa Barajı Havzası'nda arazi kullanımı; Derbent, Selçuklu, Meram İlçe Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüklerinden elde edilen veriler ve arazi çalışmaları ışığında değerlendirilmiştir. Havza mera, orman, kültür arazisi, tarıma elverişsiz alanlar, çıplak kayalıklar ve göl alanı olmak üzere 6 kategoride değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Altınapa Barajı Havzası'nda Arazi Kullanımı-2018

Arazi	Alan (Km ²)	%
Mera	67,3	12,0
Orman	327,5	58,3
Kültür Arazisi (Ekili-Dikili)	132,4	23,5
Tarıma Elverişsiz Alan (Yerleşim, Yol, Bataklık, Akarsu Yatağı vd)	25,1	4,4
Çıplak Kayalık	7,4	1,3
Göl Alanı	2,5	0,4
TOPLAM	562,2	99,9

Kaynak: Derbent, Meram, Selçuklu İlçe Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlükleri, 2019

Araştırma sahasında kullanım bakımından en fazla değişikliğe uğrayan mera alanlarıdır. 1992 yılında havza yüz ölçümünün % 43'ünü oluşturan mera alanları günümüzde % 12,0'lik (67,3 km²) bir oran teşkil etmektedir (Tablo 3). Mera alanlarının bu derece azalmasında ağaçlandırma çalışmaları etkili olmuştur. Ağaçlandırılan mera sahaları; Aladağ'ın doğu kesimleri (Şekil 3; Dede T,

Akpınar Mahallesi), Darboğaz-Kışla deresi vadilerinin arasındaki kesim, Bişikkaya Tepe (2026 m) güneyi, Toprakçal T. (1969 m)'nin kuzey ve güney kesimleri, Altınapa Baraj Gölü'nün doğu kesimi ile Çaldağı'nın kuzey yamaçlarıdır.



Şekil 3. Aladağ'ın (2339 m) Doğu Yamaçlarında Ağaçlandırma Çalışmalarında Arta Kalmış Mera Alanları, Küçükbaş Hayvan Yetiştiriciliği Bakımından Önem Taşımaktadır.

Altınapa Barajı Havzası'nda mera alanlarından sonra en fazla değişikliğe uğrayan araziler orman alanlarıdır. Önceki yıllarda % 23,4'lük oran teşkil eden orman alanları, mera ve fundalık alanların katılımı ile % 58,3'e (327,5 km²) ulaşmıştır. Ormanlık sahaların bu derece artmasında, ağaçlandırma çalışmaları etkili olmuştur. Daha önce mera ve fundalık olarak kullanılan Aladağ'ın doğu kesimleri (Dede Tepe (2100 m), Akpınar Mahallesi), Darboğaz-Kışla deresi vadilerinin arasındaki kesim, Bişikkaya T. (2026 m)'nin güneyi, Toprakçal T.(1969 m)'nin kuzey ve güney kesimleri, Altınapa Baraj Gölü'nün doğu kesimi (Şekil 4) ile Çaldağı'nın kuzey yamaçları (Şekil 5) orman alanlarına dönüştürülmüştür. Söz konusu sahalar karaçam, sedir, sarıçam, meşe, akasya ve badem ağaçları dikilerek ağaçlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu durum havza açısından olumlu bir tablo oluşturmuştur. Ancak ağaçlandırma çalışmalarının erozyon karşısında yetersiz kaldığı sahalar da mevcuttur. Özellikle Kışla ve Karadere vadi yamaçlarında toprak örtüsünün tutunamadığı yüzeyler dikkat çekmektedir.



Şekil 4. Altınapa Baraj Gölü'nün Doğu Kesiminde Ağaçlandırılmış Sahalar ile Erozyona Uğramış Eğimli Yüzeyler



Şekil 5. Altınapa Barajı Havzası'nda İlk Ağaçlandırma Çalışmalarının Yapıldığı Çaldağı'nın Kuzey Yamaçları

Havzada kuru tarım, bahçe (sulu) ve sulu tarım alanlarından oluşan kültür arazisi % 23,5'lik (132,4 km²) alan kaplamaktadır. Kültür arazinin alanında çok az bir değişiklik söz konusudur. 1992-2018 yılları arasında sadece % 0,4'lük (2,7 km²) bir artış gerçekleşmiştir. Bu derece az bir oranın ortaya çıkmasında havzanın Konya Su ve Kanalizasyon İdaresine (KOSKİ) ait su toplama havzası olması ve koruma tedbirleri etkili olmuştur.

Altınapa Barajı Havzası'nda çıplak kayalıklar, % 1,31'lik (7,4 km²) alan kaplamaktadır. Havzada alan olarak değişimi en az olan kullanım sahalarından birisidir. 1992 yılına göre sadece % 0,01'lik kısmi bir artış söz konusudur. Çıplak kayalık alanlar, havzanın doğu ve güneyinde görülmektedir. Doğuda, Sayın (1868 m) ile Toprakçal (1969 m) tepeler; güneyde, Kızılkoyak Tepe, Çaldağı (1934 m) ve Kızılören Dağı'nın zirve kesimleri (Şekil 6) çıplak kayalık sahalardır. Çıplak kayalık alanlar; ağaç, ot ve kültür bitkileri yetiştirmeye uygun olmayan sahalardır.



Şekil 6. Altınapa Barajı Havzası'nda Çıplak Kayalıkla 7,4 km²'lik Alan Kaplamaktadır. Bu Alanlardan Biriside Kızılören Dağı'nın Zirve Kesimleridir.

Altınapa Baraj Gölü'nün alanı % 0,4'lük (2,5 km²) bir oran teşkil etmektedir. Ancak barajın göl aynası, yıllık ve mevsimlik koşullara göre değişimler göstermektedir (Şekil 7). Bazen baraj gölünün yerinde erozyonel malzemenin biriktiği bir ova görünümü ortaya çıkmaktadır. Yağışlı mevsimde ise barajın göl alanı tamamen su ile dolarak maksimum alana ulaşmaktadır.



Şekil 7. Altınapa Baraj Gölü'nün Aynası, Mevsimlik ve Yıllık Koşullara Göre Değişmektedir. Gölün Batı Kesiminde Yer Alan Mandalas Tepe (1423 m) ve Doğusunda Yer Alan Altınapa Baraj Gölü.

Altınapa Barajı Havzası'nda yerleşim, yol, bataklık, akarsu yatağından oluşan diğer alanlar % 4,4'lük (25,1 km²) orana sahiptir.

3.2.2. Arazi Kullanım Sınıfları

Arazi kullanım sınıfları, tarımsal amaçlarına göre sekiz kategoriye ayrılmaktadır. İlk dört sınıf arazi; yöreye adapte olmuş kültür bitkileri ile orman, mera ve çayır bitkilerini yetiştirmeye uygun arazilerdir. V, VI ve VII. sınıflar, adapte olmuş yerli bitkilerin yetişmesine elverişlidir. V ve VI. Sınıf arazilerde toprak ve su koruma önlemleri alındığı takdirde bazı özel bitkiler yetiştirilebilir. VII. sınıf arazilerde etkin ve pahalı ıslah çalışmaları ile ürün elde edilebilirse de verimli değildir (Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Müdürlüğü, 1992:19).

Altınapa Barajı Havzası'nda arazi sınıfları ve kullanım durumları incelendiğinde birtakım arazi kullanım yanlışlıkları dikkati çekmektedir. Bu hatalı arazi kullanım özellikleri aşağıda arazi kabiliyet sınıfları özelinde açıklanmıştır.

I. Sınıf Araziler

Altınapa Barajı Havzası'nda birinci sınıf araziler; Uluçay Vadi Tabanı ile Tasmakıran T. (1856 m)'nin doğusunda düz ve düze yakın arazileri kaplamaktadır. Toprak derinlikleri fazla, drenajları iyi, su tutma kapasiteleri yüksek, verimlilikleri oldukça iyidir. Rüzgâr ve su erozyonu çok az görülmektedir. Günümüzde bu araziler sulu tarım yapılan yerlerdir (Şekil 8).



Şekil 8. Uluçay Vadi Tabanı Sulu Tarım Yapılan Sahalardan Birisidir. Bahçe Tarımı Yapılan Bu Sahalarda Elma, Çilek, Yetiştiriciliği Yanında Buğday, Yonca, Şekerpancarı Yetiştiriciliği Yapılmaktadır.

II. Sınıf Araziler

Havzada ikinci sınıf araziler; Tasmakıran T. (1856 m)'nin güney ve güneydoğusunda, Değirmenlik Dere Vadisi'nin doğu ve batı kesimlerinde, Mabram Dere Vadisi'nin batısında, Mülâyim Mahallesi'nin kuzeybatısı, doğu ve güneyinde, Taşkesti T. (1555 m)'nin güneyinde, Darboğaz ile Dilekçi vadilerinin muhtelif kesimlerinde görülmektedir (Şekil 9). Bu sınıf arazilerde hafif eğim, orta derecede su ve rüzgâr erozyonu, idealden az toprak derinliği dikkat çeken özelliklerdir. Günümüzde bu araziler kuru tarım, mera, bahçe (sulu), sulu tarım şeklinde kullanılmaktadır.

III. Sınıf Araziler

Üçüncü sınıf araziler, havzada sınırlı alanlarda görülmektedir. Bu araziler; Mülayim Mahallesi'nin batısında, Akpınar ile Ulumuhsine mahalleleri arasındaki kesimlerde görülmektedir. Bu sınıf arazilerde; toprak derinliği az, orta derecede eğim, şiddetli su erozyonu söz konusudur. Günümüzde kuru tarım ve mera olarak kullanılmaktadır.

IV. Sınıf Araziler

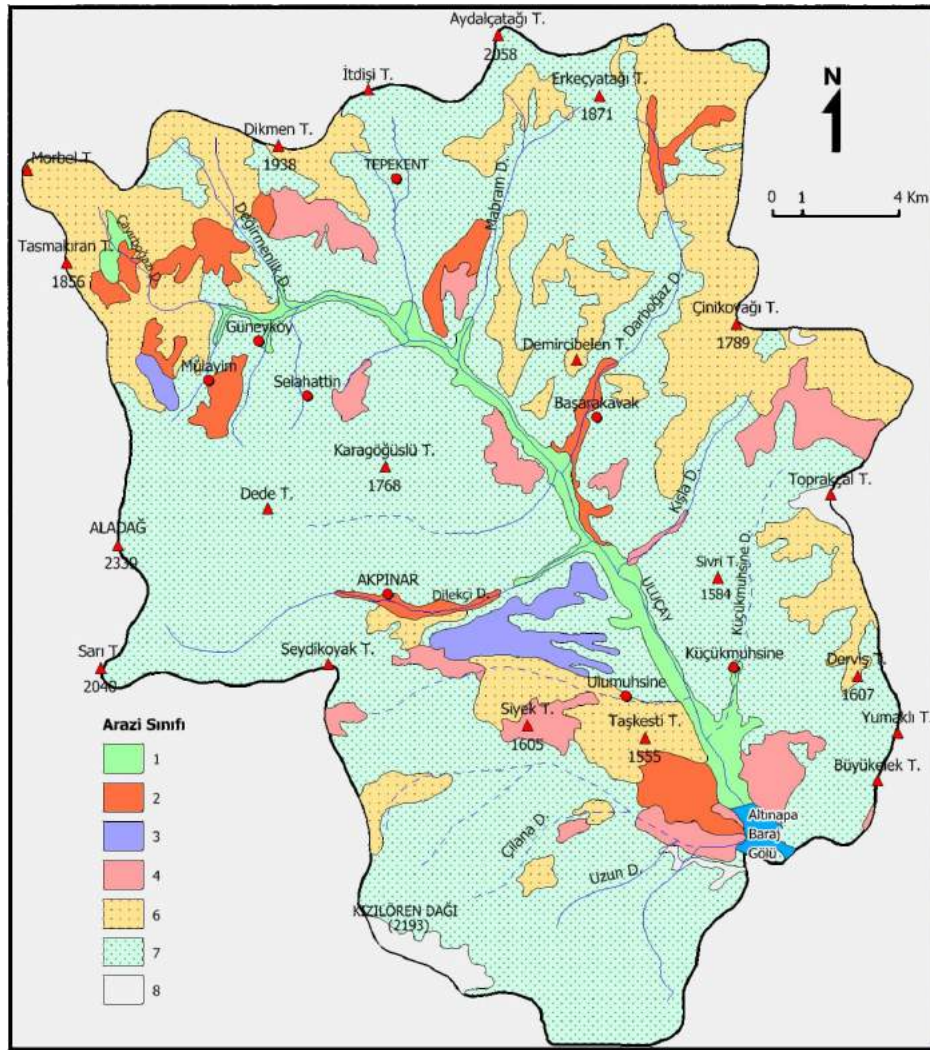
Dördüncü sınıf araziler; Dikmen T. (1938 m) güneyinde, Selahattin Mahallesi doğusunda, Mabram Dere Vadisi'nin batı kesimlerinde, Toprakçal T. (1969 m) kuzeyinde, Siyek Tepe (1605 m) ile Altınapa Baraj Gölü'nün kuzeydoğu ve batı kesimlerinde yer almaktadır. Bu toprakların dikkatli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Genellikle çayır, mera ve orman olarak kullanılması uygunluk arz eder. Bu sınıf arazilerde fazla eğim, şiddetli su erozyonu, sığ toprak, düşük nem tutma kapasitesi, taşkınlara uğrama riskinin fazlalığı söz konusudur. Bu açılardan bu topraklarda kültür bitkilerinin yetiştirilmesi kısıtlılık arz etmektedir. Günümüzde bu topraklar daha çok kuru tarım sahası, mera olarak kullanılmaktadır.

V. Sınıf Araziler

Altınapa Barajı Havzası'nda V. sınıf arazi bulunmamaktadır.

VI. Sınıf Araziler

Altıncı sınıf araziler, havzanın kenar kısımları ile Siyek ve Taşkesti tepelerinin çevresinde yer almaktadır. Bu arazilerde dik eğim, şiddetli erozyon, sığ toprak, taşlılık görülmektedir. Koruma tedbirleri alınarak çayır ve mera olarak kullanılabilir. Ancak Altınapa Barajı Havzası'nda arazi kullanım yanlışlıkları yapılan arazilerin başında VI. sınıf araziler gelmektedir. Tasmakıran Tepe'nin (1856 m) doğu yamaçları (Şekil 10), Dikmen T. (1938 m) güneyi, Mabram Dere Vadisi, Darboğaz Deresi'nin batı kesimleri, Siyek T. (1605 m) ile Taşkesti T. (1555 m) arasındaki arazilerde kuru tarım yapılmaktadır. Oysaki bu arazilerin koruma tedbirleri ile çayır ve mera olarak kullanılması gerekmektedir. Bu koşul sağlanmadığı için 10-12° eğime sahip bu sahalarda şiddetli erozyona uğramış sahalardır.



Şekil 9. Altınapa Barajı Havzası'nın Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıfları Haritası
(Bu Harita, Arazi Çalışmaları ile Tarım ve Köy İşleri Bak., Köy Hiz. Müd., 1992'den yararlanılarak hazırlanmıştır).



Şekil 10. Taşkesti Tepe'nin (1555 m) Doğu Yamaçları, Arazi Kullanım Bakımından VI. Sınıf Arazilerden Oluşmaktadır. Bu Araziler Üzerinde Mera ve Orman Alanlarından Dönüştürülmüş Kuru Tarım Sahaları

VII. Sınıf Araziler

Bu sınıfa giren arazilerde; çok dik eğim, toprak sığılı, şiddetli erozyon, taşlılık önemli problemlerdir. Bu topraklar; ancak koruma tedbirleri alınarak çayır ve mera olarak kullanılmalı, kesinlikle kültür bitkileri için kullanılmamalıdır.

VII. sınıf araziler Altınapa Barajı Havzası'nda en fazla yer tutan arazilerdir. Havzanın kuzeydoğu ve kuzeybatı kesimleri dışında kalan sahalarda geniş yer kaplamaktadır. Bu araziler, genellikle mera, orman olarak kullanıldığı görülmektedir. Havzanın doğu kesimlerinde arazinin özelliklerine uygun kullanıldığı, kuzey ve batı kesimlerinde uygun kullanılmadığı tespit edilmiştir. Havzanın kuzey ve batı kesimlerinde mera, orman ve fundalıkların tahrip edilerek kuru tarım sahaları oluşturulduğu dikkat çekmektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Uluçay Deresi Vadisi'nin Kuzeye Bakan Yamaçlarında Mera Alanının Tahrip Edilmesi ile Oluşturulmuş Kuru Tarım Arazileri (Selahattin Mahallesi Kuzeyi).

VIII. Sınıf Araziler

Altınapa Barajı Havzası'nda bu sınıfa giren araziler oldukça sınırlı alanlarda görülmektedir. Havzanın güneyinde bulunan Kızılören Dağı'nda, Çaladağı'nda ve Konya-Beyşehir karayolu güzergâhında bu tip araziler yer almaktadır. Ayrıca havzanın doğu kesimindeki Toprakçal T.(1959 m) ile Sayın T.(1868 m) çevresinde görülmektedir. Havzada VIII. sınıf araziler çıplak kayalık, taşlık, çok şiddetli erozyona uğramış yerlerdir. Bu sınıf araziler ağaç, ot ve kültür bitkileri yetiştirmeye uygun olmayan sahalardır.

4. Sonuç

Altınapa Barajı Havzası'nda arazi kullanım özelliklerinin, doğal ve beşeri coğrafya faktörleri ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Ancak son yıllarda havza alanının kullanımındaki antropojenik baskının artması neticesinde birtakım arazi kullanım yanlışlıkları da meydana gelmiştir. Bu yanlışlıklar;

-Havzada I, II, III ve IV. sınıf araziler kültür bitkileri için uygunluk göstermektedir. Ancak III. ve IV. sınıf arazilerde eğim, toprak sığılığı önemli problemlerdir. Bu arazilerin koruma tedbirleri alınarak kullanılması gerekmektedir. Altınapa Barajı Havzası'nda kuru tarım olarak kullanılan bu sınıf topraklarda buğday, arpa yulaf yetiştirilmektedir. Kullanım yanlışlığı; arazi sürüm teknikleri ve anız örtüsünün yüzeyde bırakılmaması olarak dikkat çekmektedir. I. sınıf araziler sulu tarım yapılan sahalardır. Bu arazilerdeki topraklar, vadi tabanını çevreleyen yamaçlardan gerek fiziksel ayrışma gerekse akarsu kökenli erozyonal malzemenin oluşturduğu depozitler üzerinde teşekkül etmiştir. Bu açıdan gevşek litolojideki toprakların sulama tekniklerinde önemli yanlışlıklar dikkat çekmektedir. Bu konuda damla sulama tekniği yapılmasına karşın salma su tekniği ile arazinin sulandığı kesimler de görülmektedir. Salma su, toprağın üst kısmındaki verimli tabakanın yok olmasına yol açmaktadır. I. ve II. sınıf toprakların; genellikle elma, kayısı, şeftali, kiraz yetiştiriciliği yanında buğday, fiğ, silajlık mısır, şekerpancarı üretiminde de kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu arazilerin daha çok bahçe ziraatı için kullanılması önerilmektedir.

-Altınapa Barajı Havzası'nda V. sınıf arazi bulunmamaktadır. Altıncı sınıf araziler, havzanın kenar kısımları ile Siyek ve Taşkesti tepelerinin çevresinde yer almaktadır. Bu arazilerde dik eğim, şiddetli erozyon, sığ toprak, taşlılık önemli problemlerdir. Koruma tedbirleri olarak çayır ve mera olarak kullanıma özelliğine sahiptirler. Ancak Altınapa Barajı Havzası'nda arazi kullanım yanlışlıkları yapılan arazilerin başında VI. sınıf araziler gelmektedir. Tasmakıran Tepe'nin (1856 m) doğu yamaçları, Dikmen T. (1938 m) güneyi, Mabram Dere Vadisi, Darboğaz Deresi'nin batı kesimleri, Siyek T. (1605 m) ile Taşkesti T. (1555 m) arasındaki arazilerde kuru tarım yapıldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak yaklaşık 10-12° eğime sahip bu sahaların çayır ve mera olarak kullanılması gerekirken kuru tarım yapıldığı görülmektedir. Bu da bu sınıf toprakların şiddetli su erozyonuna uğramasına neden olmuştur.

-VII. sınıf araziler Altınapa Barajı Havzası'nda en fazla yer tutan arazilerdir. Havzanın kuzeydoğu ve kuzeybatı kesimleri dışında kalan alanlarında geniş yer kaplamaktadır. Bu arazilerin genellikle mera, orman olarak kullanıldığı görülmektedir. Havzanın doğu kesimlerinde arazinin özelliklerine uygun olarak kullanıldığı, kuzey ve batı kesimlerinde ise mera, orman ve fundalıkların tahrip edilerek kuru tarım sahaları oluşturulduğu belirlenmiştir. Bu durum arazi sınıfının özelliklerine aykırı bir durum teşkil etmektedir. Sonuçta VII. sınıf araziler en fazla su erozyonuna uğramış araziler olarak dikkat çeker.

-Altınapa Barajı Havzası topraklarının % 89,2'sinin zarar gördüğü anlaşılmıştır. Havza topraklarının bu derece yüksek oranda zarar görmesinde aşırı otlatma, tarla açma, usulsüz kesim, yanlış arazi kullanımının etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu konuda havza topraklarının korunumuna yönelik 1983, 1988, 1995, 1997 yıllarında ağaçlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 55 km²'lik saha ağaçlandırılmıştır. Bu ağaçlandırma çalışmaları sonuç vermiştir. Ancak eğimli sahalarda yine erozyonun etkili olduğu gözlenmiştir. Bu durumda daha çok ağaç dikimi yerine yüzeysel toprağı tutacak Koyun çimi (*Festuca violacea*), Kekik (*Thymus sipyleus*), Boğa dikeni (*Eryngium campestre*), Sığırkuyruğı (*Verbascum cheiranthifolium*) gibi bitkilerin daha fazla tercih edilmesi gerekir.

-Havzada 11 mahalle, 52 yayla, 12 ağıl, 3 divan yerleşmesi bulunmaktadır. Mahalle yerleşmelerinin 8'i tamamen, 3'ü kısmen havza sınırları içerisinde kalmaktadır. Bu mahallelerde yaşayan nüfusun geçim kaynakları arasında hayvancılık önemli yer tutmaktadır. Özellikle küçük mera hayvancılığı doğal bitki örtüsünü tehdit etmekte, aşırı otlatma ise erozyonu tetiklemektedir. Bu durumda mera alanlarının kontrollü otlatılması, ahır hayvancılığının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

-Yöre ve Konya halkına, öncelikle Altınapa Barajı Havzası'nın potansiyel değerleri kavratılmalı, daha sonra da bu değerleri koruyarak kullanma yolu öğretilmelidir.

5. Kaynakça

- Bulduk, A., Tekdere, M., Topçuoğlu, A.T., Solak, N. (2006). Konya İli Yerleşim Alanı ve Civarının Jeoloji Ön Raporu, Konya Büyükşehir Belediyesi, KOSKİ, Konya.
- Bozyiğit, R., Kaya, B. (2017). Altınapa Barajı Havzası'nda (Konya) Erozyon ve Önlemler. *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı 36(1), 285-303.
- Bozyiğit, R. (2018). *Takkeli Dağ*, Konya: Çizgi Kitabevi.
- Derbent Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müd. (2019). Hayvan İstatistikleri, Konya.
- Derbent Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müd. (2019). Arazi Kullanım İstatistikleri, Konya.
- D.S.İ., IV. Bölge Müd., (2019). Akım Yıllığı (1975-2016), Konya.
- Ekinci, D.(2012), Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Bolu İlinde Arazi Kullanımındaki Değişimlerin Tespiti, *Coğrafya Dergisi*, Cilt 1, Sayı 24,s.18-37, İstanbul.

- Eroğlu, İ., Özşahin E. (2018). Aliğa İlçesinde Arazi Kullanımı-Arazi Örtüsü (AKAÖ) Değişiklikleri Üzerindeki Antropojenik Etkiler. Arkeoloji, Tarih, Coğrafya, Turizm ve Kültürüyle Geçmişten Günümüze 1. Aliğa Sempozyumu (14-15 Eylül 2017) Bildiri Özetleri Kitabı, Editör: Murat Çekilmez ve Serdar Vardar s: 45-46, Aliğa, İzmir.
- Göğer, E., Kırıl, K. (1973). Kızılören Dolayının (Konya'nın Batısı) Genel Stratigrafisi. MTA Rapor No:5204 (Yayınlanmamış). Ankara.
- Gülersoy, A. E. (2014). Seferihisar'da Arazi Kullanımının Zamansal Değişimi (1984-2010) ve İdeal Arazi Kullanımı İçin Öneriler. SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi, *Sosyal Bilimler Dergisi*, Sayı:31, s.155-180.
- Güyer, F., Günaydın, A.B., Akbulut, İ., Ak, S., Kurtman, T., Demirci, A.R., Akarsu, B., Emre, Ö., Durdu, M., Karakaş, M., Üyüklü, A., Yıldız, H. (1998). Konya İli Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynaklar. MTA Rap. No:42149, Ankara.
- Hakyemez, H.Y., Elibol, E., Umut, M., Bakırhan, B., Kara, İ., Dağıstan, H., Metin, T., Erdoğan, N. (1992). Konya-Çumra-Akören Dolayının Jeolojisi, MTA Rap., Ankara.
- Kurt, S. (2015). The Geographical Analysis of the Changes Occurring in Terkos Lake (Istanbul) and Its Surroundings. *International Journal of Social Science*, 43(2), 331-342.
- Kurt, S., Duman, E. (2016), Sakarya İlinde Kentsel Gelişim Sürecinin Arazi Kullanımına ve Jeomorfolojik Birimler Üzerindeki Etkisinin Zamansal Değişimi, *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı: 34, s.268-282, İstanbul.
- Meram Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müd. (2019). Hayvan İstatistikleri, Konya.
- Meram Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müd. (2019). Arazi Kullanım İstatistikleri, Konya.
- Özşahin, E. (2014). CBS Kullanılarak Şehir ve Jeomorfoloji Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Tekirdağ Şehri Örneği. İğdır Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Dergisi*, Sayı:6, s.93-122.
- Selçuk Biricik, A. (1985). Sarayköy Civarında Erozyon ve Önlemleri (Konya), *Coğrafya Dergisi*, 1, 173-180.
- Selçuklu Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müd. (2019). Hayvan İstatistikleri, Konya.
- Selçuklu Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müd. (2019). Arazi Kullanım İstatistikleri, Konya.
- Şenel, M., Dalkılıç, H. (2016). 1/100 000 Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Konya-M 27 Paftası No:227, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütler Dairesi, Ankara.
- Şenel, M., Pehlivan, N. (2016). 1/100 000 Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Konya-M 28 Paftası No:228, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütler Dairesi, Ankara.
- Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Müdürlüğü, (1992). Konya İli Arazi Varlığı, Ankara.
- Orhon, M., Esendal, S., Kazak, M. A. (1991). *Türkiye'deki Barajlar*, Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Özdemir, M.A., Bahadır, M. (2008). Yalova İlinde Arazi Kullanımının Zamansal Değişimi (1992-2007), *İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, Sayı: 17: s. 1-15.
- TÜİK, (2019). Tarım ve Nüfus İstatistikleri, 20 Nisan 2019 Tarihinde <http://www.tuik.gov.tr/Start.do> Adresinden Edinilmiştir. Ankara.



Synthesis of New p-Alkylaminophenol Compounds and Investigation of Their Antimicrobial and Antioxidant Activity

Yeliz Ulaş^{1*}, Ahmet İsmail Özkan², Veysel Tolan³

¹Bursa Uludağ University, Faculty of Art and Science, Department of Chemistry, Bursa, Turkey (ORCID: 0000-0003-2038-1851)

²Dicle University, Faculty of Science, Department of Biology, Diyarbakır, Turkey (ORCID: 0000-0002-4511-2386)

³Dicle University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics, Diyarbakır, Turkey (ORCID: 0000-0003-0172-6957)

(First received 26 June 2019 and in final form 22 July 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.582483)

ATIF/REFERENCE: Ulaş, Y., Özkan, A. İ. & Tolan, V. (2019). Synthesis of New p-Alkylaminophenol Compounds and Investigation of Their Antimicrobial and Antioxidant Activity. *European Journal of Science and Technology*, (16), 701-706.

Abstract

Alkylaminophenols are synthetic derivatives well known for their anticancer activity. In this work, we report the antimicrobial and antioxidant activity of such compounds. A series (4,5,6) of alkylaminophenol compounds were prepared with fairly good yields by Petasis reaction. Synthesized compounds were characterized by ¹H-NMR and ¹³C-NMR. The obtained compounds were tested against Gram-positive and Gram-negative bacteria. The compound 4 showed antimicrobial activity at a concentration of 10 mg/mL, while the 6 compound showed activity on *S. aureus*. Phenolic compounds have attracted attention due to their proximal and antioxidant activities. Since alkylaminophenols have phenolic structure, their antioxidant activity has been investigated. Thus, drug-active substances with high antioxidant capacity against diabetes, heart disease, and cancer were synthesized.

Keywords: Alkylaminophenol, antimicrobial, anticancer, antioxidant

Yeni p-alkilaminofenol Bileşiklerinin Sentezi ve Antimikrobiyal ve Antioksidan Aktivitelerinin Araştırılması

Öz

Alkilaminofenoller antikanser aktivitelerine sahip iyi bilinen organik yapılardır. Bu çalışmada, yüksek verimlerle petasis reaksiyonuyla bir seri (4,5,6) alkilaminofenol bileşiği sentezlendi. Sentezlenen bileşikler ¹H-NMR ve ¹³C-NMR ile karakterize edildi. Ardından, bu bileşiklerin antimikrobiyal ve antioksidan aktivitelerini incelendi. Elde edilen bileşikler, Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı test edildi. 4 nolu bileşiğin, 10 mg / mL konsantrasyonda antimikrobiyal aktivite gösterirken, 6 nolu bileşiğin, *S. aureus*'ta aktivite gösterdiği görüldü. Fenolik bileşikler proksimal ve antioksidan aktivitelerinden dolayı dikkat çekici yapılardır. Alkilaminofenoller fenolik yapıya sahip olduklarından antioksidan aktiviteleri de araştırılmıştır. Diyabete, kalp hastalığına ve kansere karşı yüksek antioksidan kapasiteye sahip ilaç aktif maddeleri; ilk kez sentezlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Alkilaminofenol, antimikrobiyal, antikanser, antioksidan

1. Introduction

Cancer is a leading cause of death worldwide. The emergence of different types of the same disease ensures that treatments and drugs are used differently. In recent years, alkylaminophenol based compounds have been frequently used in chemotherapy because of their anticancer and antioxidant activity. It is known to be effective, especially in bone cancer. The ability to act as free radical scavengers

* Corresponding Author: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2038-1851, yelizulas@uludag.edu.tr

and the presence of a phenol group in their structure required research into their biological properties (Neto 2016; Doan 2016; Doan and Nguyen 2017; Larson 1988; Cotelle 1996; Velioglu 1998; Zheng 2001)

Alkylaminophenols are heterocyclic structures synthetically obtained by the reaction of an amine, aldehyde, and boronic acid (Ulaş 2019; Petasis 1993; Mandai 2012; Mandai et. 2012; Candeias 2009; Candeias 2010; Rosholm 2015) We began the study by synthesizing a series of alkylaminophenol and then we performed structural characterization of these compounds. At the last stage, we investigated antimicrobial and antioxidant activities.

2. Materials and methods

¹H and ¹³C spectra were recorded on Agilent 600 spectrometer (600 and 150 MHz, respectively) in CDCl₃ with TMS as the internal standard. Melting points were measured on a Buchi B-540 digital melting point apparatus. All chemicals and solvents were purchased from commercial sources and used without further purification.

2.1. General procedure for the synthesis of p- alkylaminophenols

Salicylaldehyde (5 mmol) was added to a stirred mixture of amine (5 mmol) and arylboronic acid (5 mmol) in 1,4-dioxane at reflux and stirred for 24-36h. The resultant solution was diluted with H₂O and extracted with EtOAc. The organic layer washed with brine and dried over Na₂SO₄. The product was obtained by column chromatography on silica gel with n-hexane-EtOAc (9:1) as eluent. Evaporation of the solvent afforded the aminoalkylphenol as colorless to yellow oil or white to yellow solid (Kaboudin 2018).

2-(benzo[d][1,3]dioxol-5-yl(pyrrolidin-1-yl)methyl)phenol (4)

Yield 1.20 g (81%), yellow solid, mp 95-96 °C. ¹H NMR spectrum (600 MHz, CDCl₃), δ, ppm (J, Hz): 1.84 (m, 4H); 2.50-2.64 (m, 4H); 4.30 (s, 1H); 5.91 (d, J=16.8, 2H); 6.71 (t, J=7.8, 2H); 6.86 (d, J=7.8, 1H); 6.89 (d, J=7.8, 1H); 6.94 (d, J=7.2, 1H); 7.05 (s, 1H); 7.11 (t, J=7.2, 1H); 12.23 (s, 1H). ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz): δ, ppm: 23.4; 53.1; 75.4; 101.0; 107.9; 108.0; 108.1; 109.7; 116.9; 119.1; 121.2; 122.2; 126.7; 128.2; 128.3; 136.2; 147.0; 147.9; 156.5.

2-(benzo[d][1,3]dioxol-5-yl(piperidin-1-yl)methyl)phenol (5)

Yield 1.34 g (86%), Yellow solid, mp 108-109 °C. ¹H NMR (600 MHz, CDCl₃): δ(ppm) = 1.47-1.65 (m, 7H); 2.42 (broad s, 3H); 4.38 (s, 1H); 5.92 (d, J=15, 2H); 6.69-6.73 (m, 2H); 6.82-6.85 (m, 2H); 6.89 (d, J=7.8, 1H); 6.96 (s, 1H); 7.11 (t, J=7.8, 1H); 12.51 (s, 1H). ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz): δ, ppm: 24.1; 26.1; 76.2; 101.1; 108.0; 108.1; 108.2; 109.8; 116.9; 119.0; 122.2; 125.6; 128.3; 129.1; 133.4; 136.6; 146.2; 146.3; 147.2; 147.9; 157.0.

2-(azepan-1-yl(benzo[d][1,3]dioxol-5-yl)methyl)phenol (6)

Yield 1.52 g (94%), Yellow solid, mp 79-80 °C. ¹H NMR (600 MHz, CDCl₃): δ(ppm) = 1.64-1.71 (m, 8H); 2.71 (s, 4H); 4.66 (s, 1H); 5.93 (d, J=10.8, 2H); 6.69 (t, J=6.6, 1H); 6.75 (d, J=7.8, 1H); 6.86 (d, J=6.6, 3H); 7.00 (s, 1H); 7.12 (s, 1H); 12.59 (s, 1H). ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz): δ, ppm: 26.4; 28.0; 53.5; 75.4; 101.1; 108.1; 108.7; 109.8; 110.0; 116.9; 118.8; 122.2; 122.3; 122.4; 126.2; 128.4; 128.5; 128.6; 128.8; 133.5; 147.2; 148.0; 157.2

2.2. Antimicrobial Activity of 4, 5, 6

Disc diffusion assay was performed to determine the antimicrobial activity of the newly synthesis compounds with disc diffusion method according to the National Committee for Clinical Laboratory Standards Guidelines (NCLLS 1997). A suspension of the tested microorganism (0.1 ml of 10⁸ cells per ml) covered the surface of agar plates. Filter papers of 6 mm diameter are wetted at various concentrations and placed on inoculated agar plates. Ten microliters of the test compounds were filled into sterile filter paper discs (6 mm) and put in inoculated plates. The seeded plates were incubated at 37°C for 24 h and 30°C for 48 h for bacteria and fungi, respectively. Imipenem (IPM) and Erythromycin were used as positive controls for bacteria and fungi, respectively. All tests were made in triplicate and the antimicrobial activity was indicated as diameter of inhibition zones (mm). Values are presented as means ±SD of three parallel measurements.

2.3. Antioxidant Activity of all alkylaminophenol compounds

Antioxidant activity was tested via 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging activity with small modifications in 96-well microplate (Dimitrova 2010 and Sharma 2009). DPPH was dissolved in methanol at 0.004 % concentration. Test compounds were dissolved in Dimethyl Sulfoxide (DMSO). Concentrations were 1.25, 2.5, 5, 10 mg/ml, respectively. Each well contained a solution of 200 µl DPPH-methanol. 10 µl of serial concentration of each test compound and controls were added separately into each well, Ascorbic acid (11.8 mM), Butylated hydroxytoluene (60 mM) and DMSO were also used as controls. Then microplates were incubated at room temperature for 30 minutes, in the dark. After incubation, the absorbance of test compounds the antioxidant activity was

measured at 517 nm by the microplate reader. All tests were made in triplicate. DPPH free radical scavenging activity was determined with the following equation:

$$\text{Inhibition of DPPH \%} = [(\text{AbsControl} - \text{AbsSample}) / \text{AbsControl}] \times 100$$

AbsControl = The absorbance of DPPH-methanol solution

AbsSample = The absorbance of test compounds/controls mixed with DPPH-methanol solution, separately

3.Results and Discussion

3.1.Chemistry

This study aims to synthesize biologically active alkylaminophenol compounds. The Petasis reaction was chosen as a synthesis reaction. As well known, this multicomponent reaction generally occur between an aldehyde, secondary amine, and boronic acid. The reaction was affected by the solvent, temperature, and atmosphere conditions. Therefore, the targeted compounds were synthesized by selecting an optimized procedure. A catalyst is usually needed (Frauenlob 2012; Shi 2012; Reddy 2015) to perform the reaction; however, no catalyst (Ying 2010) was used in this study.

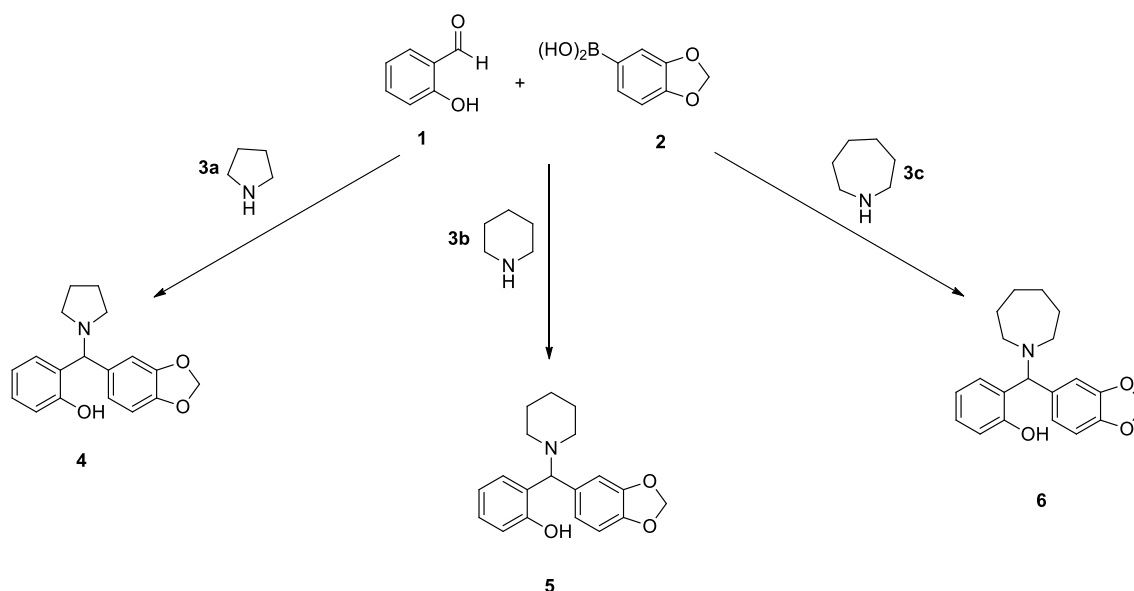


Figure 1 Synthesis of Alkylaminophenols

In the reaction (Figure 1) Therefore, salicylaldehyde **1**; 3,4- (methylenedioxy) phenylboronic acid **2** were reacted with three different cyclic secondary amines. Three new compounds with high yields 2- (benzo [d] [1,3] dioxol-5-yl (pyrrolidin-1-yl) methyl) phenol; **4**, 2- (benzo [d] [1,3] dioxol-5 yl (piperidin-1-yl) methyl) phenol; **5**, 2- (azepan-1-yl (benzo [d] [1,3] dioxol-5-yl) methyl) phenol **6** were synthesized.

The reaction occurred with the formation of iminium ion between the secondary amine and the aldehyde, then by alkylaminophenol via the nucleophilic addition of boronic acid (Figure 2).

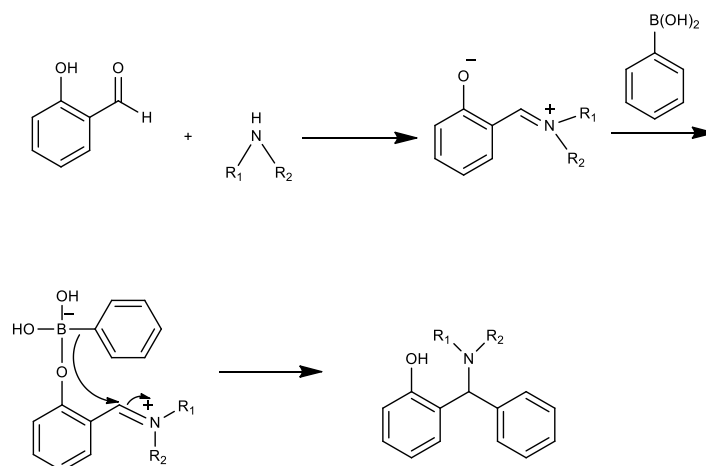


Figure 2 Petasis reaction mechanism between salicylaldehyde, boronic acid and secondary amines

In the structure analysis of the compounds, it was found that the specific chiral C-H proton of the alkylaminophenols was about 4.00-5.00 ppm, and the O-H peak bound to the aromatic ring was between 12.00 and 13.00 ppm. After the structure analysis was completed, antimicrobial and antioxidant capacity of these compounds were investigated.

3.2. Biological assays

3.2.1 Antimicrobial activity

The Antimicrobial activity of test compounds was evaluated against two Gram (-) negative *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*, two Gram (+) positive *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus pyogenes* bacteria, and a yeast *Candida albicans*. *Salmonella typhimurium* (TA98 and TA100) strains with Rfa mutation were tested for checking whether test compounds (concentration of 10 mg/ml) passed through bacterial membrane.

4 test compound showed antimicrobial activity against *S. pyogenes* at 10 mg/ml and showed weak effects against other microorganisms at the same dose. 6 test compound showed activity against *S. aureus*. Since the test compounds have to enter the cell to show antimicrobial activity, the compounds should also be checked whether they enter the cell. For this reason, it was investigated whether the absence or weak of antimicrobial activity was related to the test compounds that were passed through the cell membrane. For this purpose, the test compounds were tested by using Ames Test strains TA98 and TA100. According to these results, it can be suggested that the tested compounds may have passed through the cell membranes.

4 test compound showed antimicrobial activity against all microorganisms at 10 mg/ml. 6 test compound showed activity against *S. aureus*. Neither 4 nor 6 showed antimicrobial activity against microorganisms in increasing (20, 40 and 80 mg/ml) concentrations (Table 2).

Table 2. Antibacterial activity of the test compounds.

Test compound	Dose mg/ml	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>	<i>S. pyogenes</i>	<i>C. albicans</i>
4	1.25	7.0 ± 1.0	-	7.3 ± 0.5	-	-
	2.5	7.0 ± 1.0	7.0 ± 0	7.3 ± 0.5	-	-
	5	7.0 ± 0	7.0 ± 0	7.4 ± 0.6	7.0 ± 1.0	7.0 ± 1.0
	10	10.0 ± 1.0	9.0 ± 0	7.3 ± 0.5	14.0 ± 1.0	7.0 ± 1.0
5	1.25	-	-	-	-	-
	2.5	-	-	8.3 ± 0.5	-	-
6	5	-	-	9.0 ± 1.0	-	-
	10	-	-	9.0 ± 1.0	-	-
	15 µl	-	-	7.0 ± 0	-	-
Imp.	Disk	26.3 ± 1.5	27.4 ± 1.4	26.4 ± 1.2	26.4 ± 1.2	26.4 ± 1.2
Erytr.	Disk	22.6 ± 1.5	23.0 ± 1.2	23.0 ± 1.2	23.0 ± 1.2	23 ± 1.2

3.2.2 Antioxidant activity

DPPH free radical scavenging effect was found out at 1.25, 2, 5, and 10 mg/ml, and the results supply over 50% inhibition in these antioxidant assays were seen in Table 3, respectively. As depicted in Table 3, the antioxidant activity of the test compounds showed increasing activity dependent on the increasing concentration. The highest antioxidant activity was observed at 10 mg/ml concentration of all test compounds. It was calculated as DMSO inhibited DPPH-methanol solution at 5%, AA inhibited at 70.68% and BHT inhibited at 68.64%, respectively. All the results are indicated in Table 3.

Table 3 DPPH free radical scavenging activity

Samples	DPPH%	Samples	DPPH%	Samples	DPPH%
Control	0	Control	0	Control	0
Ascorbic acid	70.68 ± 0.03	Ascorbic acid	70.68 ± 0.03	Ascorbic acid	70.68 ± 0.03
BHT	68.64 ± 0.01	BHT	68.64 ± 0.01	BHT	68.64 ± 0.01
DMSO	5.56 ± 0.03	DMSO	5.56 ± 0.03	DMSO	5.56 ± 0.03
4 -1,25	17.67 ± 0.05	5 -1,25	12.34 ± 0.06	6 -1,25	16.02 ± 0.03
4 -2,5	26.04 ± 0.07	5 -2,5	16.99 ± 0.04	6 -2,5	21.24 ± 0.10
4 -5	35.34 ± 0.07	5 -5	25.72 ± 0.02	6 -5	23.64 ± 0.03
4 -10	47.29 ± 0.05	5 -10	37.51 ± 0.01	6 -10	38.20 ± 0.01

Values are means ± S.D. n = 3, P < 0.05, importantly dissimilar with Student's t-test.

4. Conclusion

In summary, novel alkylaminophenol compounds with high antioxidant and biological activity were synthesized. Compound 4 exhibited antimicrobial activity against all microorganisms at 10 mg/ml, while compound 6 showed activity against *S. aureus*. Compound 5 showed no antimicrobial activity. The absence of antimicrobial activity may be important to deliver the drug to the cell without killing the cell. As previously reported, the antioxidant activity of the newly synthesized compounds may be due to phenolic groups in chemical structures, and our test results have confirmed this.

Acknowledgment

This study was supported with KUAP(F)-2015/22 project by Bursa Uludag University Scientific Research Projects Unit.

References

- Neto I., Andrade J., Fernandes A.S., Reis C.P., Salunke J.K., Priimagi A., Candeias N.R., Rijo P. (2016). Multicomponent Petasis-borono Mannich Preparation of Alkylaminophenols and Antimicrobial Activity Studies. *ChemMedChem*. 11, 2015-2023.
- Doan P., Karjalainen A., Chandraseelan J.G., Sandberg O., Yli-Harja O., Rosholm T., Franzen R., Candeias N.R., Kandhavelu M. (2016). Synthesis and biological screening for cytotoxic activity of N-substituted indolines and morpholines. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 120, 296-303.
- Doan P., Nguyen T., Yli-Harja O., Candeias N.R., Kandhavelu M. (2017). Effect of alkylaminophenols on growth inhibition and apoptosis of bone cancer cell. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 7, 208-216.
- Larson A.R. (1988). Antioxidants of higher Plants. *Phytochemistry*. 27, 969-978.
- Cotelle N., Bernier J.L., Catteau J.P., Wallet J.C., Gaydou E.M. (1996). Antioxidant properties of hydroxy-flavones. *Free Radical Biology and Medicine*. 20, 35-43.
- Velioğlu Y.S., Mazza G., Gao L., Oomah B.D. (1998). Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits Vegetables and Grain Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 10, 4113-4117.
- Zheng W., Wang S.Y. (2001). Antioxidant activity and Phenolic Compounds in Selected herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49, 5165-5170.

8. Ulaş Y. (2019). Akıllı Malzemelerin Hazırlanmasında Kullanılacak Amin Türevi Monomerlerin Sentez ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknolojisi Dergisi*. 16, 242-246
9. Petasis N.A., Akritopoulou I. (1993). The boronic acid mannich reaction: A new method for the synthesis of geometrically pure allylamines. *Tetrahedron Letters*. 34, 583-586.
10. Mandai H., Murota K., Suga S. (2012). Studies on the Petasis reaction of 2-pyridinecarbaldehyde Derivatives and Its Products. *Heterocycles*. 85, 1655-1669.
11. Mandai H., Murota K., Sakai T. (2012). An improved protocol for Petasis reaction of 2-pyridinecarbaldehydes. *Tetrahedron Letters*. 51, 4779-4782.
12. Candeias N.R., Veiros L.F., Afonso C.A.M., Gois P.M.P. (2009). Water: A Suitable Medium for the Petasis Borono-Mannich Reaction. *European Journal of Organic Chemistry*. 1859-1863.
13. Candeias N.R., Montalbano F., Cal P.M.S.D., Gois P.M.P. (2010). Boronic Acids and Esters in the Petasis-Borono Mannich Multicomponent Reaction. *Chemical Review*. 110, 6169-6193.
14. Rosholm T., Gois P.M.P., Franzen R., Candeias N.R. (2015). Glycerol as an Efficient Medium for the Petasis Borono-Mannich Reaction. *ChemistryOpen*. 4, 39-46.
15. Frauenlob R., Garcia C., Bradshaw G.A., Burke H.M., Bergin E.A (2012). Copper-Catalyzed Petasis Reaction for the Synthesis of Tertiary Amines and Amino Esters. *Journal of Organic Chemistry*. 77, 4445-4449.
16. Shi X., Hebrault D., Humora M., Kiesman W.F., Peng H., Talreja T., Wang Z., Xin Z. (2012). Acceleration of Petasis Reactions of Salicylaldehyde Derivatives with Molecular Sieves. *Journal of Organic Chemistry*. 77, 1154-1160.
17. Reddy S.R.S., Reddy B.R.P., Reddy P.V.G. (2015). Chitosan: highly efficient, green, and reusable biopolymer catalyst for the synthesis of alkylaminophenols via Petasis borono-Mannich reaction. *Tetrahedron Letters*. 56, 4984-4989.
18. Ying L., Limin W., Yuanyuan Sui., Jianjun Y. (2010). Solvent-free Synthesis of Alkylaminophenols via Petasis-Boronic Mannich Reaction in One Pot without Catalysts. *Chinese Journal of Chemistry*. 28, 2039-2044.
19. Kaboudin B., Zangooui A., Kazemi F., Yokomatsu T. (2018). Catalyst-free Petasis-type reaction: Three-component decarboxylative coupling of boronic acids with proline and salicylaldehyde for the synthesis of alkylaminophenols. *Tetrahedron Letters*. 59, 1046-1049.
20. NCCLS (1997). Performance standards for antimicrobial disk susceptibility test. Approved Standard, Wayne Pa, M2-A6.
21. Dimitrova D.Z, Nedialkov P., Kitanov G. (2010). Radical scavenging and antioxidant activities of methanolic extracts from *Hypericum* species growing in Bulgaria. *Pharmacognosy Magazine*. 6, 74-78.
22. Sharma O.P., Bhat T.K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry*. 113, 1202-1205.



Yüksek Enerjili Klinik Linear Hızlandırıcı Modellemesi ve Radyasyon Sızıntı Ölçümleri

Ümit Kara^{1*}, İskender Akkurt²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Görüntüleme Programı, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1435-9810)

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fizik Bölümü, Isparta, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 21 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 17 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.581029)

ATIF/REFERENCE: Kara, Ü. & Akkurt, İ. (2019). Yüksek Enerjili Klinik Linear Hızlandırıcı Modellemesi ve Radyasyon Sızıntı Ölçümleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 707-712.

Özet

Günümüzde klinik radyasyon ve uygulamaları özellikle kanser ve türevi hastalıkların tanı ve tedavisinde sıkça kullanılmaktadır. Teknolojideki son gelişmeler ile birlikte klinik radyasyon kullanım alanları, cihaz ve modelleri her geçen gün yenilenmektedir. Dolayısı ile bu cihaz ve modellerin deneysel testleri ve ölçümleri için ilk aşamalarından birisi de simülasyon çalışmalarıdır. Bu anlamda özellikle radyasyonun simüle edilebilmesi ve gerekli hesaplamaları yapabilmek deneysel anlamda oldukça güçtür, bundan dolayı Monte Carlo yöntemi gibi matematiksel ve fiziksel problemleri aynı anda simülasyon tekniği ile birleştiren yazılımlar üretilmiştir. Bu çalışmada Monte Carlo yöntemini olarak MCNP kodu kullanılmış, cihaz ve oda için deneysel ölçümleri Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Kliniğinde bulunan Klinik Linear hızlandırıcı ile yapılmış ve elde edilen deney ve teorik sonuçlar korele edilmiştir. Çalışma sonucunda, seçilen yüksek enerjili klinik linear hızlandırıcıda (18 MV) litaretürdeki çalışmalar, simülasyon ve deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiş, literatürdeki çalışmalar, deneysel ve simülasyon sonuçları arasında uyum gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyoterapi, Monte Carlo, Gama.

Abstract

Nowadays, clinical radiation and applications are used mostly in the diagnosis and treatment of cancer and derivative diseases. Recently advances in technology, clinical radiation usage areas, devices and models are renewed every day. Therefore, one of the first steps for experimental and measurements of these devices and models is simulation studies. In this situation, it is difficult to simulate the radiation and make the calculations experimentally, therefore, software that combines mathematical and physical problems such as Monte Carlo method with simulation technique has been produced. In this study, MCNP code was used as the Monte Carlo method and experimental measurements for the device and the room were measured in Süleyman Demirel University Faculty of Medicine Radiation Oncology Department, clinical Linear Accelerator in Oncology Clinic and experimental and theoretical results were correlated. As a result of the study, the studies in the literature, simulation and experimental results were compared in selected high energy clinical linear accelerator (18 MV), and the studies in the literature.

Keywords: Radiotherapy, Monte Carlo, Gamma.

¹ Sorumlu Yazar: Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Görüntüleme Programı, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1435-9810, umitkara@sdu.edu.tr

1. Giriş

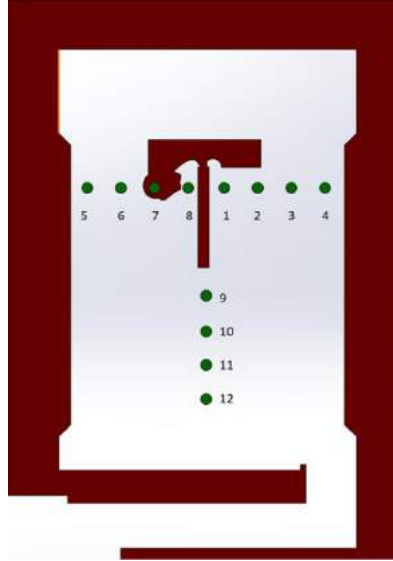
Radyasyon, kararsız bir çekirdek tarafından yayılabileceği gibi yapay kaynaklar ile de üretilebilen parçacık veya elektromanyetik dalga formu şeklinde enerji taşıdır. Bu enerji formuna rutin hayatın içinde maruz kalmamız doğal bir süreçtir. Radyasyon, günlük hayatımızda gerek doğal yollardan, gerekse de gelişen teknoloji ile beraber yapay kaynaklardan yayınlanan biçimde insanlığın yaşamının bir parçası olmuştur. Bu nedenle, vücut, organ ve dokularımız radyasyonla etkileşime girebilmektedir. Tıbbi uygulamalarda iyonizan radyasyonun kullanımı tanısal radyoloji ve tedavi amaçlı olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Tanısal olarak iyonizan radyasyon kullanımına örnek; röntgen, bilgisayarlı tomografi (BT) gibi cihazlar ile hastanın anatomik bilgilerinin elde edilmesi ve meydana gelen anomalilerin tespitidir. Tedavi için amaçlı radyasyon kullanımında ise radyoterapi kliniklerinde LINAC gibi cihazlarda elde edilen yüksek enerjili ışınlar ile karsinom dokuların hedeflenmesi, izlenen tedavi programına göre ayarlanan dozlarda karsinom dokuların bertaraf edilmesi sağlanmaktadır. Tıbbi alandaki radyasyon uygulamaları ile görüntü elde etme işlemleri ülkemizde çoğunlukla diyagnostik radyoloji ve nükleer tıp birimlerinde gerçekleştirilirken, karsinojen hücre veya tümörleri yok ederek tedavi uygulama işlemleri ise radyasyon onkolojisi birimlerinde gerçekleştirilmektedir. Radyoterapi uygulamalarında hastada bazı yan etkiler meydana geldiği bilinmektedir. Bu yan etkiler; halsizlik, şişme, ağırlık hissi, derinin güneş yanığı rengi alması gibi belirtilere sahiptir. Bir radyoterapi işlemi, cerrahi operasyonlardan sonra sağ kalma olasılığı olan kanser hücrelerinin öldürülmesini sağlamak, kanserli bölgedeki canlı hücre sayısını azaltarak tümörün tekrarlanma riskini azaltmak, uygulanan bölge dışındaki lenf bezi yayılımlarını azaltmak (Mümkün olduğunca bitirmek) ve klonojenik hücrelerin yayılma ihtimalini azaltmak amacıyla uygulanır. Bölgesel mikroyayımlar, eşdeğer radikal cerrahi nedeniyle oluşan anatomik ve bazen fizyolojik kayıplar olmadan radyoterapi ile tedavi edilebilir (Chao vd., 2004).

Kanser tedavisinde, birçok tedavi seçeneği bulunmasına rağmen bunların içinde radyoterapi ayrı bir yere sahiptir. Radyoterapi işlemlerinde mevcut olan iyonizan radyasyon kullanımından dolayı, farklı türde radyasyondan korunma gereklilikleri gerek hasta gerekse de çalışanlar için ortaya çıkmıştır. Radyoterapide önemli noktalardan birisi de tedavi için gönderilen ışınların karakteristiği ve bunların oluşma safhasıdır. Bu çalışmalar genelde deneysel veya teorik olabilmektedir. Tıbbi uygulamalarda yapılan deneysel yapılan çalışmalar çoğu zaman hasta sağlığı ve risk açısından mümkün olmayacağı gibi çoğu zaman da doğruluğunun teyit edilmesi açısından tek başına yetersiz kalabilmektedir. Diğer yandan, deneysel çalışmaların kurulumu ve uygulanması işlemi de çoğu zaman ekonomik açıdan bir maliyeti de beraberinde getirmektedir (Aydogmus Erik v.d., 2019). Tüm bu sebeplerden dolayı, matematiksel modellemeler ve farklı simülasyon tekniklerinin günümüzde yaygın kullanımı sayesinde elde edilmesi zor olan geometrik yapılan, cihaz modellemeleri ve hasta fantomları günümüzde kolayca yapılabilmektedir (Tekin v.d., 2018, Tekin v.d., 2019, Kavaz v.d., 2019). Ahnesjö ve ekibinin 1994 yılındaki çalışmada, küçük alanlarda önem taşıyan, düzleştirici filtre ve primer kolimatörün, verim oranlarında yaklaşık % 12 oranında katkı sağladığı ortaya çıkarmıştır. Zhu ve ekibi ise 1995 yılındaki çalışmasında, kafa saçılması faktörüne etki eden birçok farklı durum olduğunu ortaya çıkarmış ayrıca fotonların hızlandırıcı kafasındaki bazı yapılardan saçıldıklarını gözlemlemiştir. Siebers ve ekibi ise 1999 yılındaki çalışması ile insan vücudunda birden çok farklı organ ve dokudan oluşmasına karşın günümüzde klinik radyoterapi için suda yüzeyinde bırakılan doz hesaplamaları temeline dayanmaktadır. Monte Carlo doz hesaplama algoritması özellikle doku, akciğer ve kemiklerden oluşan hasta ortamlarında da yüksek kesinlikte doz hesaplamalarında sonuç verebilmektedir. Bu çalışmada ise etkileşimin olduğu malzemede 6 ve 18 MV 'luk foton demetlerinin doz oranları birincil elektron spektrumlarının ortalama durdurma gücünün hesaplanmasıyla elde edilmiş bulgulardır. Barquero ve ekibinin 2005 yılında yaptıkları çalışmada ise Monte Carlo simülasyon tekniği olarak MCNP kodunu kullanmış ve hastalara ulaşan foto nötron doz değerlerini araştırmışlardır. Çalışmada fantom ile dört alan ve tedavi yöntemi uygulanmıştır. Özellikle hastanın epidermis tabakasına yakın bölgedeki tedavi alanı içindeki organ ve dokularda foto nötron doz oranlarının daha yüksek olduğunu bulmuştur. Bu sonuca bağlı olarak, uzak organlardan elde edilen edilen nötron dozlarında ve derin organlardaki eşdeğer nötron dozları için iyi bir sonuç elde etmişlerdir.

2. Materyal ve Yöntem

Monte Carlo simülasyon metodu, olasılıklar dahilindeki durumları simüle etmeye yardım eden ve farklı algoritma dillerine sahip istatistiksel bir teknik ile çalışan bir yapıdır (Kavaz v.d., 2019b, Tekin v.d., 2019b). İlk ortaya çıkış süreci araştırmacılar tarafından özellikle deneysel amaçlı çalışmaları simüle etmek için kullanılmak üzere keşfedilmiş olup, sonraları tıp, enerji, malzeme araştırmaları v.b. gibi birçok farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır (Sayyed v.d., 2019). Tıbbi alanda Monte Carlo simülasyon metodunun kullanımı, medikal fizik araştırmalarında da dünyaca kabul görmüş ve özellikle radyasyon etkileşimleri gibi karmaşık yapıya sahip problemlerin çözümünde oldukça kullanışlı bir yöntem haline gelmiştir. Bu çalışmada, deneysel çalışma için Süleyman Demirel Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi birimi Klinik Lineer Hızlandırıcı Ünitesi kullanılmıştır. Deneysel ölçüm gereçleri ve kontrolleri Radyasyon Onkolojisi biriminde gerçekleştirilmiştir. Kalite kontrol işlemlerinde kullanılan iyon odası, dozimetre, barometre gibi hassas cihazların kalibrasyonları, ölçümlere başlamadan önce gerçekleştirilmiştir. Elektrik ve mekanik kontroller yapıldıktan sonra, dozimetrik kalite kontrolleri ve kalibrasyonu yapılmıştır. Doz ölçüm çalışmaları, katı fantomda gerçekleştirilmiştir ayrıca klinik radyasyon onkoloji hastalarının üzerinde doz dağılımlarını ölçmek oldukça güç bir durumdur. Dolayısı ile ölçümler için bahsedilen fantomlar kullanılmıştır. Fiziki özellik olarak ise yoğunluğu yaklaşık olarak $1,04 \text{ g/cm}^3$, elektron yoğunluğu $3,43 \cdot 10^{23} \text{ e/cm}^3$ olan RW3 katı su fantomu özellikleri %2 TiO_2 içeren beyaz polystrenden $30 \times 30 \text{ cm}^2$ boyutlarında monitor kalibrasyonları ve derin doz ölçümlerini katı fantom içerisinde yapılabilmesine olanak sağlayan, yüksek enerjili foton ve elektron dozimetresine uygun bir fantomdur ayrıca 1 mm aralıklarla 30 cm derinliğe kadar ölçüm imkanı akrilik veya su eşdeğeri RW3 malzemeden yapılmıştır. Kalınlık tolerans değeri $\pm 0.1 \text{ mm}$ dir. Ayrıca fantom olarak kullanılma diğer bir sebebi ise suyun yoğunluğu, kas ve yumuşak doku yoğunluğuna çok yakındır. Bu yüzden, temel doz dağılımları için su kullanılır. Ölçüm için su ortamının seçilmesinin diğer bir sebebi de kolayca tekrarlanabilir olmasındandır. Suda ölçüm yapmanın en önemli dezavantajı kullanılacak olan iyon odası veya diyotların su geçirmez olması gerekliliğidir. Aşağıda orjinal plan, iki boyutlu ve üç boyutlu çizimleri verilmiş olan Şekil 1 ve Şekil 3'de verilen

numaralar ile ifadelendirilmiş olan deneysel ölçüm noktaları belirlenmiştir. Ayrıca deneysel gama ölçümler için Polimaster marka 1703mo-1b model cihaz kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Kullanılan klinik lineer hızlandırıcı, tedavi oda planı ve şematik olarak ölçüm noktaları



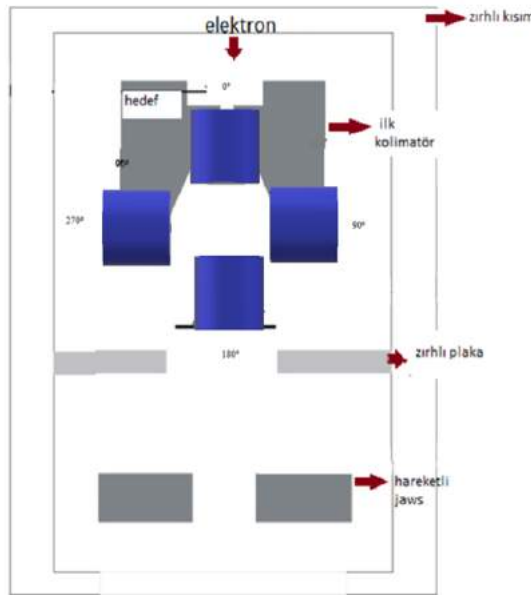
Şekil 2. Deneysel ölçüm için kullanılan gama dedektörü (Polimaster 1703mo-1b)

Çalışmanın bir diğer aşaması olan Monte Carlo simülasyonları da MCNP kodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MCNP, radyasyon taşınımını tüm fiziksel süreçleri ve etkileşimleri göz önüne alarak gerçekleştiren ve simüle eden kullanıcı dostu bir kod olarak

bilinmektedir (Abouhaswa v.d., 2019). MCNP foton, elektron, nötron gibi iyonize olan radyasyon türlerinin maddesel ortamlardan geçişlerini Monte Carlo yöntemini kullanarak modelleyen bir simülasyon programıdır (Briesmeister, 1997). MCNP kodu karmaşık parçacık geçişini modellemede sağlıklı bir şekilde kullanılabilir. Çünkü üretilen belirli aralıktaki rastgele değerlerle birlikte sürekli etki kesiti verisini kullanır.



Şekil 3. Kullanılan klinik lineer hızlandırıcı koridorunda yer alan ölçüm noktalarının şematize edilmiş hali

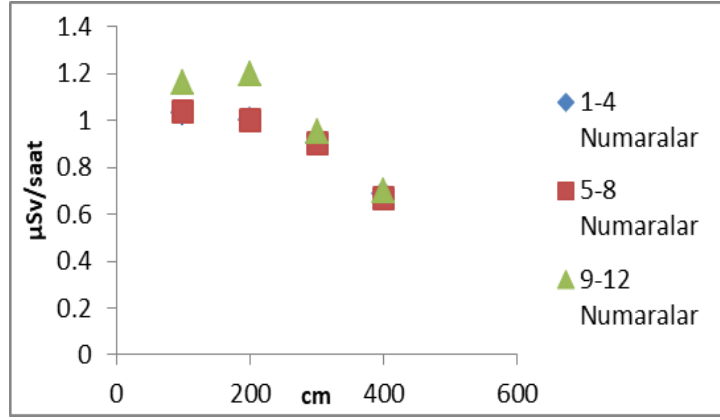


Şekil 4. Monte Carlo yöntemi ile (MCNP) simüle edilen klinik medikal lineer hızlandırıcı kafası ve farklı açılardaki kafa şematizesi

3. Araştırma Bulguları

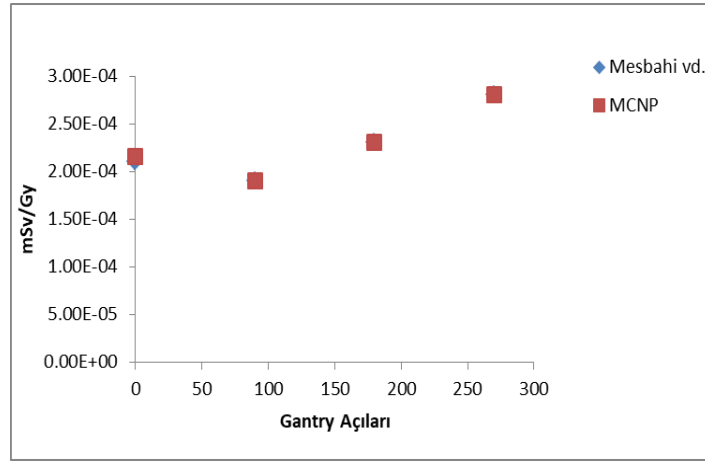
Foton radyoterapi kanser tedavisinde günümüzde sıkça kullanılmakta olan önemli bir yöntemdir. Dolayısıyla radyoterapi ünitelerinde radyasyon kirliliği ve bunların belirlenmesi önemli bir faktördür. Yapmış olduğumuz bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi, Araştırma ve Uygulama Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi, Radyoterapi ünitesinde teorik ve deneysel ölçümleri gerçekleştirmeyi hedefledik. Çalışmanın amacı, radyoterapi ünitelerindeki gama doz sızıntılarının tespiti ve önlemleridir. Dünyada ve Türkiye’de günümüz popüler konuları arasında yer alan doz sızıntıları ve bunların etkileri konusunda bu temel amaca yönelik olarak yüksek enerji değerlerine sahip olan klinik lineer hızlandırıcılarda değişik dozlardaki ışınlamalar için gama dozu ölçümleri ve elde edilen doz ölçümlerinin teorik hesaplamalarla karşılaştırılması çalışmalarını gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel ve teorik ölçümlerde ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Şekil 5. ve iki boyutlu modellenen planlarda da (Bir – Dört numara arası) görülebileceği gibi, doz uzaklık grafiği için merkez ekseninden uzaklaştıkça azalmaktadır. Şekil 5. ve iki boyutlu modellenen planlarda da (Beş – Sekiz numara arası) görülebileceği gibi, doz uzaklık grafiği için merkez ekseninden uzaklaştıkça azalmaktadır. Şekil 5. ve iki boyutlu modellenen planlarda da (Dokuz – Oniki numara arası) görülebileceği gibi, doz uzaklık grafiği için merkez ekseninden uzaklaştıkça azalmaktadır.



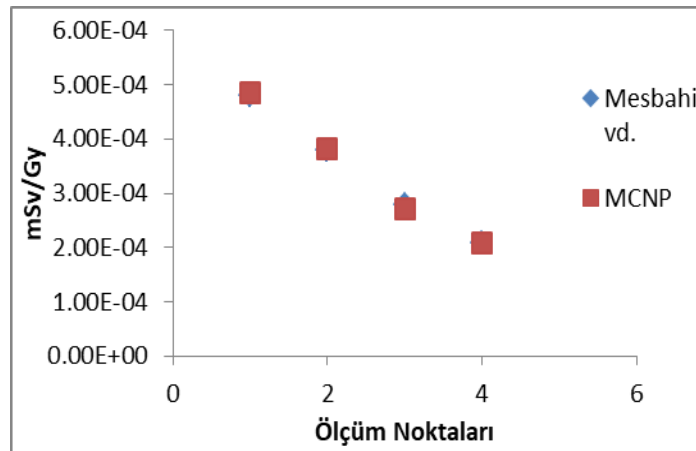
Şekil 5. Deneysel ölçüm gama doz dağılım grafiği (1-12 numaralar)

Şekil 6. ve iki boyutlu modellenen planlarda da görülebileceği gibi, doz uzaklık grafiği için merkez ekseninden uzaklaştıkça azalmaktadır. Ayrıca çalışmanın önceki literatür çalışmaları ile uyumlu bir şekilde korelasyon grafiği ile de uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 6. Monte Carlo yöntemi (MCNP) ile simüle edilen klinik medikal lineer hızlandırıcı koridor doz değişim grafiği

Şekil 7. ve iki boyutlu modellenen planlarda da görülebileceği gibi, doz cihaz sırası ile kafa açışlarına göre (0,90,180,270) artmaktadır. Ayrıca çalışmanın önceki literatür çalışmaları ile uyumlu bir şekilde korelasyon grafiği ile de uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 7. Monte Carlo yöntemi (MCNP) ile simüle edilen klinik medikal lineer hızlandırıcı kafası farklı açılardaki (0, 90, 180, 270) doz değişim grafiği

Bu çalışmayla beraber ortaya çıkan durumlardan bir tanesi de aslında radyoterapi ile beraber ortaya çıkan doz kirliliğidir. Dolayısıyla hasta tedavi için gelmiş bulunduğu radyoterapide aynı zamanda ek olarak kirlilikten dolayı radyasyon sızıntısına da maruz

kalmaktadır. Bu durum tedavi için önem arz etmektedir. Çalışmamızda da kullanılan model ya da metotlar kullanılarak ve geliştirilerek rutin klinik tedavi işlemlerinde doz değerlerinin tahminleri yapılabilir. Ayrıca modelleme için kullanılan MC metodu ile radyoterapi cihazları için yeni modellerin tasarlanması gerçekleştirilebilir. Yapmış olduğumuz çalışmada 18 MeV'de oluşan doz değerleri için farklı noktalarda ve kafa açılarında ölçümler alınmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Yapmış olduğumuz çalışmada rutinde de kullanılan ve deneysel ölçümlerini de almış olduğumuz klinik lineer hızlandırıcı cihazı modelleme işleminde cihazın da geometrisinden yararlanılmıştır. Radyoterapi ünitesinde, özellikle de hasta tedavi aşamasında farklı türde radyasyonlar oluşabilmektedir. Bunlar; birincil demet, saçılan radyasyon ve sızıntı radyasyonu gibi etkenlerdir. Özellikle 18 MV de çalışan klinik lineer hızlandırıcılar tarafından ortaya çıkan nötron dozu ile nötron yakalama reaksiyonları sonucunda ortaya sekonder gama ışınları oluşabilmektedir. Bu sekonder radyasyon kontaminasyonu hastanın ve de radyasyon çalışanlarının aldığı ortalama günlük dozu arttırabilmektedir. Dolayısı ile radyasyon çalışanlarının tedavi sırasında odasında bulunmamasına rağmen, sızıntı ile ortaya çıkan nötron ve foton kaynaklı radyasyonu kontaminasyonu ile çalışanlar bu duruma maruz kalabilmektedirler.

Ayrıca olası kontaminasyon önlemek için tasarlanan kapılar ağır bir yapıya sahip oldukları için ve olası kullanım zorluğundan dolayı pek tercih edilmemektedirler. Bu açıdan özellikle klinik tasarımlarda radyoterapi odalarında şaşırtma koridoru dizayn edilmektedir. Bu anlamda literatüre katkı vermek için özellikle gama dozları ölçümleri ilgili klinikte yapılmıştır ve saçılan fotonların medikal hızlandırıcı kafası ve bileşenleri ile tekrar etkileşime geçmesinden dolayı olduğu kanaatine varılmıştır. Fakat bütün ölçüm noktalarında ortak olan durum ise kafa merkezinden uzaklaştıkça doz oranlarındaki azalma olmuştur. Radyoterapi ünitesi için artan gama varlığı hasta dozuna ek bir doz alındığı hesaba katılması gerektiği ve tedavi sırasında da ikincil kanser riski hesaplanması ve çalışan sağlık personeli radyasyon güvenliği konusu mutlaka göz önüne alınmalıdır. Yapmış olduğumuz ölçümlerde diğer bir önemli kısım ise koridor doz değerlerinin istenen değerlerde ortaya çıkması olmuştur.

Referanslar

- Chao Clifford K.S., Perez Carlos A., Brady Luther W. (2004). Radyasyon Onkolojisi Tedavi Kararları. Gemici C., Mayadağlı A., Parlak C., Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul, 112-521.
- Ahnesjö, A. (1994). Analytic modeling of photon scatter from flattening filters in photon therapy beams. *Med. Phys.*, 21, 1227–1235.
- Zhu T.C., Bjärngard B.E. (1995). The fraction of photons undergoing head scatter in X-ray beams. *Phys Med Biol.* 40:1127–1134.
- Siebers JV, Keall PJ, Libby B, Mohan R. (1999). Comparison of EGS4 and MCNP4b Monte Carlo codes for generation of photon phase space distributions for a Varian 2100C. *Phys Med Biol.* 44:3009–26.
- Mesbahi, A., Fix, M., Allahverdi, M., Grein, E. and Garaati, H. (2005). Monte Carlo calculation of Varian 2300C/D Linac photon beam characteristics: a comparison between MCNP4C, GEANT3 and measurements. *Appl. Radiat. Isot.* 62(3), 469–477
- Mesbahi, A. and Nejad, F. S. (2008). Monte Carlo study on a flattening filter-free 18-MV photon beam of a medical linear accelerator. *Radiat. Med.* 26(6), 331–336.
- Mesbahi, A. (2009). A Monte Carlo study on neutron and electron contamination of an unflattened 18-MV photon beam. *Appl. Radiat. Isot.* 67(1), 55–60.
- Mesbahi, A., Keshtkar, A., Mohammadi, E. and Mohammadzadeh, M. (2010). Effect of wedge filter and field size on photoneutron dose equivalent for an 18MV photon beam of a medical linear accelerator. *Appl. Radiat. Isot.* 68(1), 84–89.
- McGinley, P. H. (1998). Shielding techniques for radiation oncology facilities Madison, WI. Medical Physics Publishing.
- A. Aydogmuş Erik, E.Kavaz, Serkan Ilkbahar, U.Kara, C. E.Erik, H.O. Tekin. (2019). Structural and photon attenuation properties of different types of fiber post materials for dental radiology applications. *Results in Physics* 13 (2019) 102354. <<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102354>>
- H.O. Tekin, M.I. Sayyed, T.T. Erguzel, M. Karahan, O. Kilicoglu, A. Mesbahi, U. Kara. (2018). Investigation of Water Equivalence and Shielding Properties of Different Solid Phantoms using MCNPX Code. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures.* Vol. 13, No. 2, April-June, p.551-562 .
- H.O. Tekin, E. Kavaz, Athanasia Papachristodoulou, M.Kamislioglu, O.Agar, E.E.Altunsoy Guclu, O.Kilicoglu, M.I. Sayyed. (2019). Characterization of SiO₂-PbO-CdO-Ga₂O₃ glasses for comprehensive nuclear shielding performance: Alpha, proton, gamma, neutron Radiation. *Ceramics International.* <<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.06.168>>

Karabuğdayın Fitokimyası, Farmakolojisi ve Biyofonksiyonel Özellikleri

Cansu İnanır¹, Sevil Albayrak², Lutfiye Ekici^{1*},

¹Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4748-954X; 0000-0002-2216-9128)

²Erciyes Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0253-3746)

(İlk Geliş Tarihi 21 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 20 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.580742)

ATIF/REFERENCE: İnanır, C., Albayrak, S. & Ekici, L. (2019). Karabuğdayın Fitokimyası, Farmakolojisi ve Biyofonksiyonel Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 713-722.

Öz

Karabuğday, *Polygonaceae* familyasına ait çok eski çağlardan beri yetiştirilen bir üründür. *Fagopyrum* cinsi iki önemli karabuğday türü içermektedir: Yaygın karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) ve Tatar karabuğdayı (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.). Bu iki önemli tür dışında *Fagopyrum cymosum* türü ise çok yaygın yetiştirilmemekle birlikte özellikle Çin tıbbında önemli bir yere sahiptir. Karabuğday, sahip olduğu önemli besin içeriği ve sağlık üzerine yararlı etkileri sebebiyle son yıllarda alternatif bir ürün olarak diyetle dahil edilmektedir. Karabuğday tohumları, diğer tahıllarla kıyaslandığında sahip olduğu farklılıklar nedeniyle pseudo-tahıl grubu içerisindedir. Bu farklılıklardan en önemlisi, karabuğdayın diğer tahıllar gibi tek çenekli olmayıp, çift çenekli bir bitki olmasıdır. Karabuğday taneleri ve diğer dokular çok sayıda nutrasötik bileşik içermektedir. Karabuğday protein, polisakkarit, diyet lifi, lipid, polifenollerden özellikle rutin ve mikro besin (mineraller ve vitaminler) içeriği ile dikkat çekici bir tahıldır. Ayrıca son yıllarda karabuğday tohumlarının çimlendirilmesi ile besleyici değerinin artırılabilmesi fikri önem kazanmaktadır. Karabuğdayın antioksidan, antitümör, antidiyabetik, antibakteriyel gibi birçok farmakolojik özelliğe sahip olduğu bildirilmiştir. Bu özellikler sahip oldukları zengin içeriklerine atfedilmektedir. Sağlık yararları nedeni ile son yıllarda karabuğdaya olan talep artmaktadır. Bu derlemede karabuğdayın genel kullanımı, kimyasal bileşenleri ve farmakolojik özellikleri ile ilgili araştırmalar özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pseudo-tahıl, nutrasötik bileşen, rutin, çimlenme

Phytochemistry, Pharmacological and Biofunctional Properties of Buckwheat

Abstract

Fagopyrum belongs to family *Polygonaceae* that grown since ancient years. The genus *Fagopyrum* contains two important buckwheat species: the common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) and Tatar buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.). Apart from these two important species, the species *Fagopyrum cymosum* is not widely cultivated, but it has an important place in Chinese medicine. Buckwheat has been included in the diet as an alternative product in recent years due to its important nutritional content and beneficial effects on health. Buckwheat seeds are in the pseudo-cereal group due to their differences compared to other cereals. The most important of these differences is that buckwheat is not monocotyledon like other cereals, it is a dicotyledon. Buckwheat grains and other tissues contain a large number of nutraceutical compounds. Buckwheat is a remarkable grain with protein, polysaccharide, dietary fiber, lipids,

¹ Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, ORCID: 0000-0002-2216-9128, lutfiyed@erciyes.edu.tr

polyphenols, especially with routine and micronutrient (minerals and vitamins) content. In addition, the idea that the nutritional value can be increased by germinating buckwheat seeds has gained importance in recent years. It has been reported that buckwheat have many pharmacological properties such as antioxidant, antitumor, antidiabetic, antibacterial. These properties are attributed to its rich contents. Due to its health benefits, demand for buckwheat has been increasing in recent years. In this review, the researches on the general usage of buckwheat, its chemical components and pharmacological properties are summarized

Keywords: Pseudo-cereal, nutraceutical component, rutin, germination

1. Giriş

Polygonaceae familyası, *Fagopyrum* cinsine ait karabuğday, dünyada yaygın olarak tüketilen bir gıda olmuştur. *Fagopyrum* cinsinin, dünyanın farklı bölgelerine dağılmış yaklaşık 15 türe sahip olduğu bilinmektedir (Guo, Xiaona, Zhu, Zhang ve Yao, 2010). Fakat bunlardan Yaygın karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) ve Tatar karabuğdayı (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) dünya çapında tarımsal öneme sahip, en çok yetiştirilen ve gıda kaynağı olarak kullanılan iki türüdür. Bu iki önemli türe kıyasla daha az bilinen ve yetiştirilen, özellikle Asya'da geleneksel kullanıma sahip, uzun karabuğday olarak da bilinen tür ise *Fagopyrum cymosum*'dur (Kılıç ve Elmacı, 2018).

Yaygın karabuğday kuzey yarımkürenin ılıman bölgelerinde yetişirken, Tatar karabuğdayı ise temel olarak daha yüksek irtifa bölgelerinin bir ürünüdür (Ji ve ark., 2019; Molinari ve ark., 2018) Yaygın karabuğday türü; daha büyük tohum yapısı, kolay soyulabilen kabuk ve lezzetli bir tada sahip olmasından dolayı Tatar karabuğdayından daha çok tüketilmektedir. Aksine, Tatar karabuğdayı ise daha küçük bir tohuma, zor soyulan kabuğa ve acı bir tada sahip olması ile karakterize edilmektedir (Dizlek, Özer, İnanç ve Gül, 2009).

Kısa mevsim mahsulü olan karabuğday, düşük verimli veya asitli topraklarda iyi yetişmektedir. Hızlı büyüyen ve tek yıllık bitki sınıfına girmektedir. Karabuğday bitkisi çiçekleri genellikle beyaz renktedir (Şekil 1). Tozlayıcıların varlığı verimi büyük ölçüde arttırmaktadır. Karabuğday, ekiminin kolay olmasının (Ahmed ve ark., 2014) yanı sıra sadece 10-12 haftalık bir büyüme periyoduna sahiptir. Karabuğday bitkisinin boyu yetiştirme koşullarına ve ortam şartlarına göre 75 ile 125 cm arasında değişmektedir (Dizlek, Özer, İnanç ve Gül, 2009). Karabuğday, fenolik içeriği ve taşıdığı antioksidan özelliklerine ilaveten depolama süresinin uzun olması gibi bazı avantajlara sahiptir (Ahmed ve ark., 2014).



Şekil 1. Karabuğday bitkisi (Anonim, 2019)

Son yıllarda geliştirilen glutensiz ekme, makarna ve bisküvi gibi gıda ürünleri tahıl benzeri olarak sınıflandırılan pseudo-tahıllardan üretilmektedir. Amarant, kinoa ve karabuğday pseudo-tahıl sınıfına ait gıdalara örnek verilebilir (Yıldız ve Yalçın, 2013). Karabuğday tohumlarının yapısı tahıllara benzemekle birlikte, bazı farklılıkları dolayısıyla pseudo-tahıl grubuna dahil edilmektedir (Mir, Riar ve Singh, 2018). Bu farklılıklardan en önemlisi, karabuğdayın diğer tahıllar gibi tek çenekli olmayıp, çift çenekli bir bitki olmasıdır. Karabuğday tohumları tahıllarda olduğu gibi nişastalı endosperm içerir. Karabuğday kahverengi ve üçgen biçimli tohumlara sahiptir (Şekil 2). Bu tohumların çevresi perikarp adı verilen meyve kabuğuyla kaplıdır. Sert lifli bir yapıya sahip olan perikarp tohum kabuğunu, endospermi ve embriyoyu sıkıca çevrelemektedir. Ek olarak, alevron tabakası nişasta içeren endospermi kuşatmaktadır. Endosperm hücreleri, ince hücre duvarlarına sahiptir ve esas olarak nişastadan oluşmaktadır. Bir karabuğday tohumundaki embriyo, endosperm merkezinde bulunur ve iki kotiledon içermektedir (Liu, Wang, Cao, Fan ve Wang, 2016). Karabuğdayın rengi ve lezzeti en önemli kalite kriterlerini oluşturmaktadır. Karabuğday tohumları ilk hasat edildiğinde yeşil iken, zamanla eski taneler kırmızı kahverengi bir renk almaktadır. Yeni hasat edilmiş tohumlar alışlagelmiş karabuğday tadına sahiptir. Eski tanelerde zamanla acı bir tat oluşmaktadır (Dizlek, Özer, İnanç ve Gül, 2009).

Karabuğdayın Türkiye'de kültürü yapılmazken, dünyada birçok ülkede yetiştirilmektedir (Kan, 2011). FAOSTAT (Food and Agricultural Organization of The United Nations, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) verilerine göre 2017 yılındaki karabuğday üretimi dünya çapında toplam 3.827.748 tondur. Verilere göre 2017 yılındaki karabuğday üretimi Asya'da 1.619.429 tondur. Asya bölgesi, dünyadaki karabuğday üretiminin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Asya ülkeleri arasında en fazla üretim 1.447.292 ton ile Çin karabuğdayın en büyük üreticisi konumundadır. Çin'i sırası ile Rusya ve Ukrayna takip etmektedir (FAOSTAT, 2019).



Şekil 2. Karabuğday tohumları (Anonim, 2019)

Bu derlemede, karabuğdayın başlıca özellikleri, bileşimi, sahip olduğu farmakolojik özellikleri ve sağlık üzerine olumlu etkileri ele alınmaktadır.

1. Geleneksel Kullanımı

Tarihsel olarak karabuğday, 20. yüzyılda Batı ülkelerinde buğday kaynaklı rekabet nedeniyle ihmal edilmiş olmasına rağmen, 17. ve 19. yüzyıllarda çok popüler bir gıda olarak tüketilmekteydi. Karabuğday Orta Asya kökenli bir bitkidir. Karabuğdayın kökenine bakıldığında benimsenen en yaygın fikir Çin’de bulunan Yunnan’da yetiştirildiği yönündedir. Karabuğday, daha sonra soğuk iklime sahip bölgelere yayılmıştır. Karabuğdayın zorlu iklim koşullarında bile yetiştirilebilmesi ve zengin besin içeriği dolayısıyla gerek gıda olarak gerekse de geleneksel tıpta kullanımı zamanla artmıştır. Karabuğday tohumları sahip olduğu kaliteli proteinleri, yoğun fenolik bileşikler ve iyi dengelenmiş esansiyel amino asitleri ve mineralleri nedeniyle potansiyel bir "fonksiyonel gıda" olarak dünya çapında tüketilmektedir (Dizlek, Özer, İnanç ve Gül, 2009). Hem Yaygın hem de Tatar karabuğday türü geleneksel tıpta çeşitli tıbbi amaçlar için kullanılmıştır. Geleneksel Çin tıbbında Yaygın karabuğday türü tohumları dalağı canlandırma (yenileme) ve inmeyi azaltma yeteneğine sahip bir bitki olarak değerlendirilmektedir. Karabuğday tanelerinin haricinde Tatar karabuğday kökü de romatizmal hastalıklar ve kanser gibi kronik hastalıkların tedavisi için geleneksel Çin tıbbının bir parçasıdır. Ayrıca karabuğdayın antitümör, antihipertansif, antiinflamatuvar, antioksidan, hipoglisemik, yorgunluk önleyici ve hepatoprotektif özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir. Karabuğday İngiliz Bitkisel Farmakopesi (ilaçlar kitabı)’nde ise hemorajik ve hipotansif etkileri olan ilaç olarak yer almaktadır. Kore’de ise geleneksel olarak anti-enflamatuvar, ateş düşürücü ve detoksifiye edici ajan olarak kullanıldığı aktarılmaktadır. Geleneksel tıp haricinde sahip olduğu sağlık etkileri nedeni ile farklı kullanımlara da sahiptir. Örneğin, karabuğday çayı Asya ve Avrupa ülkelerinde tüketilen popüler bir üründür (Jing ve ark., 2016).

2. Karabuğdayın bileşimi

Karabuğdayın sahip olduğu bileşenlerin miktarları türe ve yetiştirildiği çevre faktörlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Karabuğday unu bileşiminin tüm dünyada yaygın olarak tüketilen tahıllar ile kıyaslandığı veriler Tablo 1’de gösterilmiştir (Ahmed ve ark., 2014).

Tablo 1. Karabuğday ve diğer tahılların bileşimi (mg/g kuru ağırlık) (Ahmed ve ark., 2014)

Tahıl	Protein	Kül	Lipit	Çözünür lif	Çözünmez lif	Toplam lif
Buğday	115	17	10	10	15	25
Yaygın karabuğday	110	26	34	12	53	65
Tatar karabuğdayı	103	18	25	5	58	63
Yulaf	126	18	71	33	49	82
Çavdar	117	15	18	36	100	136

Karabuğday tohumlarında, protein içeriğinin çeşide bağlı olarak 85-188 mg/g arasında değiştiği belirlenmiştir. Karabuğdaydaki protein içeriğinin pirinç, sorgum, darı ve mısırdan oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Karabuğday proteinleri, albümin, globülin, prolamin ve glutelin içermektedir. Tahıllarda, başlıca depolama proteinleri prolaminler iken karabuğdayda çoğunlukla bu görevi globulinler üstlenmektedir. Karabuğday tanelerinin ana depolama proteini 13S globülinidir. Sahip olduğu globülinler asidik ve bazik polipeptitlerden oluşan disülfid bağlı birimlerle birlikte bir heksametrik yapıya sahiptir. Karabuğday tohumlarının % 64,5 oranında globülin, %12,5 albumin, %8,0 glutelin ve %2,9 prolamin içerdiği belirlenmiştir. Karabuğday tohumları, çölyak hastaları için toksik olan prolamin iz miktarda içermesi nedeniyle bu hastalar ve gluten intoleransı olan kişiler tarafından rahatça tüketilebilmektedir. Üretilen glutensiz ürünlerin besleyici kalitesine bakıldığında çoğunun besleyici açıdan güçlendirilmemesi nedeniyle tiyamin, riboflavin, demir ve folatı düşük miktarlarda içerdiği belirlenmiştir. Glutensiz beslenen çölyak hastası kadınların %46, %44 ve %31’inde lif, demir ve kalsiyumun yetersiz olduğu saptanmıştır. Buna benzer çalışmalar ile piyasadaki glutensiz gıdaların besleyici değerlerinde iyileştirmeye gidilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle besleyici değeri yüksek, önemli bir gıda olarak kabul edilen karabuğdayın tüketiminin artırılması ve gıdaların karabuğday ile zenginleştirilmesi önem taşımaktadır (Giménez-Bastida, Piskula ve Zieliński, 2015; Kılıç ve Elmacı, 2018).

İyi dengelenmiş amino asit bileşimi nedeniyle, karabuğday proteinleri yüksek biyolojik değere sahiptir. Karabuğdayın esansiyel amino asit içeriği Tablo 2’de diğer tahıllarla kıyaslanmıştır (Hayıt ve Gül, 2015). Tahıl tanelerinde lizin miktarı sınırlıdır, triptofan ve treonin seviyeleri yetersizdir. Tahıl taneleri ile karşılaştırıldığında, karabuğday proteini ise yüksek lizin içeriğine sahiptir. Karabuğday proteinleri arginin bakımından zengin olsa da treonin ve lösin içeriği düşüktür. Ayrıca karabuğday, diğer tahıllara kıyasla yüksek seviyede aspartik asit (% 11,3) ve düşük seviyede prolin (% 3,9) içermektedir. Karabuğday taneleri, çölyak hastaları için yüksek miktarda esansiyel amino asit içeren değerli bir diyet proteini kaynağı oluşturabilir. Baklagillerin fitik asit, tanen ve proteaz inhibitörü gibi anti besinsel faktörleri içerdiği bilinmektedir. Bu anti besinsel öğelerin varlığı protein, nişasta ve mineraller gibi besinlerin emilimini engellediği aynı zamanda bu besinlerin sindirilebilirliğini de azalttığı yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir. Besinler ile alınan tanenlerin proteinler ile etkileşimleri sonucu oluşan tanen-protein kompleksinin büyümenin baskılanmasından ve düşük protein sindirilebilirliğinden sorumlu olduğu düşünülmektedir. Önemli miktarda protein içermesine ve dengeli amino asit içeriğine rağmen karabuğday proteini ile ilgili en büyük problem, sindirilebilirliğinin düşük olmasıdır. Yaygın karabuğdayda düşük sindirilebilirlik, tripsin inhibitörleri gibi proteaz inhibitörleri ve tanenlerden kaynaklanmaktadır. Karabuğday tohumlarının çimlenmesi proteaz inhibitörlerinin aktivitesinin önemli ölçüde azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle çimlendirilmiş karabuğday protein bakımından önemli bir gıda kaynağı olarak kabul edilebilir (Ahmed ve ark., 2014). Tiamin bağlayıcı proteinler (TBP), bitkilerde B₁ (tiamin) vitamini taşıyıcıları olarak işlev gördüklerinden teknolojik işlemler sırasında B₁ vitaminin stabilitesini geliştirebilmektedir. Tiamin bağlayıcı proteinler (TBP) karabuğday tanelerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Christa ve Soral-Smietana, 2008; Mitsunaga, Matsuda, Shimizu ve Iwashima, 1986; Wijngaard ve Arendt, 2006).

Tablo 2. Karabuğday esansiyel amino asitlerinin diğer tahıllarla karşılaştırılması (protein yüzdesi olarak) (Hayıt ve Gül, 2015)

Tahıl	Lizin	Metiyonin	Triptofan	Lösin
Karabuğday	5,9	3,7	1,4	5,8
Buğday	2,6	3,5	1,2	6,3
Pirinç	3,8	3,0	1,0	8,2
Mısır	1,9	3,2	0,6	13,0

Nişasta, karabuğday tanelerinin en önemli depolama bileşenlerindedir. Bitki büyümesi için gerekli enerjiyi sağlamada kullanılmak üzere endosperm kısmında birikir. Bütün karabuğday tanesinde nişasta içeriği, kuru ağırlığın % 59 ile % 70'i arasında değişmektedir. Nişasta içeriğinin farklı iklim ve ekim koşulları ile değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Karabuğday tanelerinden izole edilen nişasta bileşiminin tahıl nişastalarından farklı olduğu tespit edilmiştir. Karabuğday nişastası granüllerinin amiloz içeriği % 15 ile % 52 arasında değişmektedir. Beslenme açısından bakıldığında hızlı sindirilebilir nişasta, yavaş sindirilebilir nişasta ve dirençli nişasta (RS) olmak üzere üç farklı nişasta fraksiyonu içermektedir. Dirençli nişasta; ince bağırsakta emilmeden, kalın bağırsaktaki mikroflora tarafından kısmen veya tamamen fermente edilebildiğinden, etkileri diyet liflerine benzemektedir. Dirençli nişasta içeriği yüksek olan gıdaların glisemik indeksleri düşük kabul edilmektedir. Düşük glisemik indeksli gıdalar, kan şekerinin düzenlenmesi ve obezitenin önlenmesinde etkili olarak kalp hastalıkları riskini azalttığından (Sieri ve Krogh, 2017) karabuğdayın kronik hastalıkların tedavisinde kullanılabileceği fikri benimsenmektedir. Pişmemiş karabuğday taneciklerinde, RS toplam nişastanın % 33-38'ini oluştururken pişirme sonrasında sadece % 7-10 arasında olduğu saptanmıştır (Wijngaard ve Arendt, 2006). Karabuğdayda bulunan nişastanın sindirilebilirliği düşük olduğundan, çimlenme esnasında enzimler tarafından parçalanarak sindirilebilirliğinin büyük ölçüde iyileştirilebileceği düşünülmektedir (Yiming ve ark., 2015).

Karabuğday embriyolarında bulunan çözünür karbonhidratlar arasında D chiro-inositol, myo-inositol, galaktinol ve rafinoz bulunmaktadır. Çözünür karbonhidratların embriyoda yoğunlaştığı, endospermde düşük bir konsantrasyona sahip olduğu, ancak kepekte daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Ahmed ve ark., 2014; Zhu, 2016a). Yapılan çalışmalar D-chiro-inositol' un kan glukoz seviyesini ve insülin aktivitesini olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir (Mancini ve ark., 2016). Fagopyritol, D-chiro inositol'un galaktoz ile birleşmesiyle oluşan spesifik bir karbonhidrattır. İlk olarak karabuğdayda tanımlandığı için adını karabuğdayın Latince adından almaktadır. Fagopyritol, karabuğday tohumlarının embriyo ve alevron dokularında biriken D-chiro inositol mono-, di- ve trigalaktosil türevleridir. Diyetle birlikte alımı ile besin takviyesi olarak önemli sayılmaktadır. Konsantrasyonu endospermde düşüktür. Karabuğdaydaki toplam içeriği % 1 ile % 6 arasında değişmektedir. D-chiro inositol türevi olan Fagopyritol A₁, diyabet ve polikistik over sendromunun tedavisinde kullanılabilecek önemli bir bileşen olarak sayılmaktadır (Macut, Bjekić-Macut, Rahelić ve Doknić, 2017). Fitik asit; proteinlerin yanı sıra demir, kalsiyum, magnezyum ve fosfor gibi mineraller ile bağlanarak bunların çözünürlüklerini ve sindirilebilirliklerini azalttığından anti-besin faktörü olarak tanımlanmaktadır (Bayraktar ve Akbulut, 2013). Karabuğdayın içerdiği diyet lifinin önemli özelliklerinden biri de fitik asit içermemesidir (Ahmed ve ark., 2014).

Genel olarak lipitler, tahılların ve pseudo-tahıllarda iz miktarda bulunmakla birlikte, önemli fizyolojik özelliklere sahiptir. Lipitler ayrıca depolanmış tohumların veya unların bozulmasına neden olabileceğinden gıda kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Hem Yaygın hem de Tatar karabuğdayı embriyoları önemli miktarlarda lipit içermektedir. Embriyo ortalama % 6,5 yağ içerirken, endosperm <% 0,4 yağ içeriğine sahiptir (Wijngaard ve Arendt, 2006). Yaygın karabuğday tohumlarının 15–37 mg/g toplam lipit içerdiği belirlenmiştir. Yaygın karabuğdayda bulunan başlıca yağ asitleri palmitik, oleik, linoleik, stearik, linolenik, araşidonik, behenik ve lignoserik asittir. İçerdiği doymamış yağ asitlerinin % 40'tan fazlasını çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) oluşturmaktadır (Ahmed ve ark., 2014; Dziadek ve ark., 2016).

Mineraller insan vücudundaki çeşitli fizyolojik fonksiyonlar için önemli bileşenlerdir. Yapılan birçok çalışma ile karabuğday tohumlarının esansiyel mineraller için iyi bir kaynak olduğu belirlenmiştir. Karabuğday tohumlarının mineral içeriği Tablo 3'te verilmiştir. Karabuğday taneleri, potasyum, magnezyum, kalsiyum ve fosfor bakımından zengindir. Karabuğdayda fosfor, potasyum ve magnezyum en çok kepekte, özellikle de öğütülmeden önce çıkarılan kabuklarda yoğunlaşmaktadır (Katar, Olgun ve Turan, 2016). Kabukları endosperm takip etmektedir. Pirinç, buğday unu veya mısır gibi diğer tahıllarla karşılaştırıldığında, karabuğday daha yüksek

düzeyde çinko, bakır ve manganez içermektedir. Özellikle bu minerallerin biyoyararlanımı karabuğday ile alımlarında yüksektir. Krom ve selenyum gibi iz elementler ise karabuğdayda düşük seviyelerde tespit edilmiştir (Ahmed ve ark., 2014; Christa ve Soral-Smietana, 2008). Çimlendirme işlemi tahılların kompozisyonlarında değişimlere neden olmaktadır. Nitekim yedi gün çimlendirildikten sonra karabuğday tohumlarının kalsiyum, fosfor, magnezyum ve potasyum içeriklerinin arttığı bildirilmektedir (Pongrac ve ark., 2016).

Vitaminler iz miktarlarda dahi insan vücudunun düzenli çalışması için gerekli olan organik bileşiklerdir. Karabuğday tohumlarının vitamin içeriği Tablo 4'te verilmiştir. Karabuğday taneleri, çoğu tahıldan daha yüksek oranda B₁ (tiyamin), B₂ (riboflavin), E (tokoferol) ve B₃ (niasin ve niasinamid) vitaminlerini içermektedir. B vitamini içeriği endosperm ve embriyonun periferik bölümlerinde yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle en yüksek miktarda B vitamini kepekte bulunmaktadır. Genellikle Tatar karabuğdayı, B₁, B₂ ve B₃ vitaminlerini yüksek oranda içerirken, daha az E vitamini içermektedir. Tiaminin karabuğday tohumlarındaki tiyamin bağlayıcı proteinlere güçlü bir şekilde yapıştığı bilinmektedir. Tiyamin bağlayıcı proteinlere yapışması sayesinde depolama sırasında stabilitesinin ve diyetle alımı ile biyoyararlanımının artırabileceği düşünülmektedir. Çimlendirme işlemi karabuğdayın sadece amino asit ve mineral miktarlarını değiştirmekle kalmayıp, C, B₁ ve B₆ vitamini içeriklerini de arttırmaktadır (Ahmed ve ark., 2014; Christa ve Soral-Smietana, 2008; Wijngaard ve Arendt, 2006).

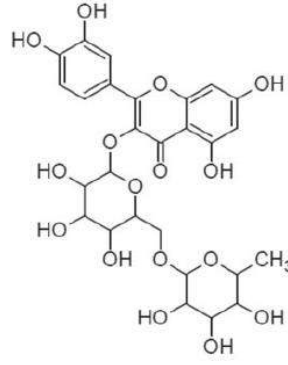
Tablo 3. Karabuğday tohumlarının mineral içeriği (Yıldız ve Yalçın, 2013)

Mineraller	Miktarı (mg/100 g)
Kalsiyum	11,0-11,6
Demir	4,0-17,5
Magnezyum	173-390
Fosfor	330-426
Potasyum	450-470
Bakır	0,95-1,2
Mangan	3,37-14,3
Çinko	0,87-2,8

Flavonoidler, bitkilerde yaygın olarak bulunan polifenolik bileşiklerdir. Bitki kökenli gıdalarda doğal olarak oluşan 4000'den fazla polifenolik bileşik bulunduğu belirlenmiştir. Karabuğdayda fenolik miktarı kabuk kısmında % 0,7 iken, kabuğu çıkarılmış tanelerde % 0,8 seviyelerindedir. Karabuğday tohumlarındaki fenolik içerik ve kompozisyonunun tür, büyüme fazı ve büyüme şartlarından etkilendiği tespit edilmiştir. Tatar karabuğdayının flavonoid içeriği genellikle Yaygın karabuğdayınkinden daha yüksektir. Tatar karabuğday tohumlarında flavonoid içeriği 40 mg/g iken, Yaygın karabuğday tohumlarının flavonoid içeriğinin 10mg/g olduğu tespit edilmiştir (Ahmed ve ark., 2014). Karabuğday ekstraktında rutin, kuersetin, kampferol-3-rutinosid ve az miktarda flavonol-tri-glikosid gibi dört flavonol glikozit bulunduğu saptanmıştır (Bhinder ve ark., 2019). Karabuğdaydaki ana flavonoid olan rutin, rutinoz eklenmiş bir kuersetin aglikonudur. Karabuğday önemli bir rutin kaynağı olan tek pseudo-tahıldır (Şekil 3). Nitekim yapılan araştırmalarda, karabuğday dışında hiçbir tahıl veya pseudo-tahılda diyet için kaynak oluşturabilecek rutin tespit edilememiştir (Bai ve ark., 2015). İçerdiği kateşinler ve diğer polifenol bileşenler ile bu bileşiklerin potansiyel antioksidan aktiviteleri beslenme açısından son derece önemlidir (Christa ve Soral-Smietana, 2008). Çimlenme sürecinde, karabuğday tohumlarında biyolojik olarak önemli bazı bileşenlerin seviyelerinin arttığı ve çeşitli dokuların (kotiledon, hipokotil ve kök) ortaya çıktığı belirlenmiştir. Günümüzde karabuğday ve karabuğday filizleri ile ilgili çalışmalar öncelikle flavonoid içerikleri ve bu bileşiklerin sahip olduğu antioksidan aktivitelerine odaklanmaktadır. Çimlenme sürecinde, karabuğday filizlerindeki toplam fenolik ve rutin içeriği ile antioksidan aktivitesinde önemli artışın olduğu tespit edilmiştir (Gullón, Lú-Chau, Moreira, Lema ve Eibes, 2017; Ling ve ark., 2018). Bazı çalışmalar sonucunda çimlenme ile Tatar karabuğdayının kuersetin ve kuersetin glikoziti olan rutin içeriklerinin arttığı gözlemlenmiştir (Ling ve ark., 2018; Yiming ve ark., 2015).

Tablo 4. Karabuğday tanelerinin vitamin içeriği (Ahmed ve ark., 2014)

Vitamin	Karabuğdaydaki seviyesi (mg/g)
A (β-karoten)	2,1
B ₁ (tiyamin)	4,6
B ₂ (riboflavin)	1,4
B ₃ (niasin)	18,0
B ₅ (pantotenik asit)	10,5
B ₆	7,3
C (askorbik asit)	50,0
E (tokoferol)	54,6



Şekil 3. Karabuğdaydaki önemli fenolik bileşen rutin (Ahmed ve ark., 2014)

4. Farmakolojik Özellikler

4.1. Anti-tümör aktivite

Karabuğday türlerinden bir tanesi olan *Fagopyrum cymosum* özellikle Çin tıbbındaki önemli türlerdendir. Akciğer tümörleri de dahil olmak üzere çeşitli akciğer hastalıklarını tedavi etmek için kullanılmaktadır (Wajid, Aslam ve Uzair, 2015). Karabuğdayın içerdiği protein, polifenoller ve fenilpropanoid glikozitler gibi bazı bileşenlerin çeşitli kanser hücreleri üzerinde sitotoksikite gösterdiği belirlenmiştir (Guo, Xiaona, Zhu, Zhang ve Yao, 2010; Zheng ve ark., 2012). *In vitro* deneyler ile *F. cymosum*'un yaklaşık 25 ile 40 g/mL konsantrasyonunun akciğer, karaciğer, kolon, lökosit ve kemiklerdeki kanser hücrelerinin büyümesini önemli ölçüde engelleyerek sitotoksikite gösterdiği belirlenmiştir. Fakat prostat, serviks, over ve beyin kanser hücrelerinin *F. cymosum*'a duyarlı olmadığı tespit edilmiştir (Chan, 2003). Birçok *in vivo* ve *in vitro* çalışma, Fr4'ün (*F. cymosum* rizomlarının ekstraktındaki dördüncü fraksiyon), *F. cymosum*'un antiproliferatif aktivitesinden sorumlu ve en umut verici fraksiyon olarak kabul edildiğini ortaya koymaktadır. Fenolik içeriği yüksek olan Fr4, 400 mg/kg dozda C57BL/6 farelere enjekte edildiğinde Lewis akciğer tümörünün büyümesini önemli ölçüde inhibe ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca, Fr4'ün farelerde sarcoma-180 (S180), hepatoma-22 (H22) gibi tümörlerin büyümesini baskılayarak siklofosamid ile sinerjistik etki gösterdiği ve siklofosamid miyelosupresyonun yan etkilerini hafifletebileceği belirlenmiştir. Yaygın karabuğday çiçek ve yaprak ekstraktlarının (EFBL) tümör hücresi proliferasyonunu önemli ölçüde inhibe ettiği ve H22 hücrelerinin apoptozisini indüklediği saptanmıştır. EBFL'in ayrıca artan GSH-Px ve SOD aktivitesi içeriği ile ilişkili olabilecek S180 tümörünün büyümesini inhibe edebileceği tespit edilmiştir (Jing ve ark., 2016). Yapılan son çalışmalar yeni bir antitümör proteini olan TBWSP31'in, Tatar karabuğdayının suda çözünen ekstraktlarından izole edilebildiğini göstermiştir. TBWSP31'in insanlardaki göğüs kanseri hücre çizgisi Bcap37'deki hücrelerinin apoptoz indüksiyonu yoluyla büyümesini inhibe edebileceği sonucuna varılmıştır (Guo, Xiaona, Zhu, Zhang ve Yao, 2010).

4.2. Antioksidan aktivite

Çok sayıda çalışma, polifenol içeriği yüksek olan bitkilerin, gıda ve ekstraktların antioksidan aktivitelere büyük ölçüde katkıda bulunabileceğini ortaya koymaktadır (Cai, Luo, Sun ve Corke, 2004). Flavonoidler, tanenler, fenolik asitler, kumarinler, stilbenler dahil olmak üzere birçok fenolik bileşiğin, güçlü antioksidan aktiviteye sahip olduğu rapor edilmiştir. Karabuğdayın tıbbi gıda olarak kullanılmasının sebeplerinden biri de içerdiği yüksek miktardaki fenolik bileşiklerdir. Yapılan bir çalışmada, 0.05 mg/mL konsantrasyonda, askorbik asit, bütillenmiş hidroksitolüen (BHT) ve rutin DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) radikaline karşı sırasıyla % 92.8, % 58.8 ve % 90.4 inhibisyon sergilediği ve ayrıca rutin lipid peroksidasyonu üzerinde etkili inhibisyon gösterdiği saptanmıştır (Yang, Guo ve Yuan, 2008). Yaygın karabuğdayın rutin açısından zengin olduğu ve önemli derecede antioksidan aktivite gösterdiği belirlenmiştir (Jing ve ark., 2016). Yaygın karabuğdayla kıyaslandığında, Tatar karabuğdayı daha yüksek antioksidan aktiviteye sahiptir (Li, Li ve Ding, 2010). Tatar karabuğdayının özellikle rutin miktarı ile DPPH radikal süpürme aktivitesini arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir (Guo ve ark., 2012). Yapılan birçok çalışmada, Tatar karabuğdayı tohumlarının farklı bölümlerinden elde edilen ekstraktlarının antioksidan etkinliklere sahip olduğu belirlenmiştir (Guo ve ark., 2012; Ma, Guo, Liu, Xu ve Wang, 2013; Tsai, Deng, Tsai ve Hsu, 2012). Ayrıca, kavurma veya ekstrüzyon gibi işlemlerin, karabuğday unu toplam fenolik içeriğinde ve antioksidan aktivitesinde belirgin bir değişikliğe neden olmadığı saptanmıştır (Şensoy, Rosen, Ho ve Karwe, 2006).

4.3. Antienflamatuvar aktivite

Yaygın karabuğday filizlerinin etanol ekstraktlarının (ExtBS), hem *in vitro* hem de *in vivo* çalışmalarda anti-enflamatuvar aktivite gösterdiği belirlenmiştir. ExtBS'nin, LPS (lipopolisakarit) tarafından uyarılan farelerde IL-6 ve α -TNF seviyelerinin aşağı regülasyonunu sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, HeLa hücrelerinde IL-6 ve IL-8'in gen ekspresyonunu doğrudan etkilediği saptanmıştır. Özetle, ExtBS'in, çeşitli enflamatuvar hastalıkların ilerlemesini önlemek için kullanılabilme ihtimali üzerinde durulmaktadır (Ishii ve ark., 2008). Yapılan bir çalışmada, Tatar karabuğday filizi ekstraktının anti-enflamatuvar etkinliği, LPS ile uyarılmış RAW264.7 hücreleri kullanılarak test edilmiştir. İnterlökin (IL) - 1b, IL-6, nitrik oksit (NO), indüklenbilir nitrik oksit sentaz (iNOS), siklooksijenaz-2 (COX-2) ve tümör nekroz faktörü (TNF- α) dahil bir dizi pro-enflamatuvar sitokin ve enflamatuvar araç hedef

alınmıştır. Filiz ekstraktlarının LPS ile uyarılmış RAW264.7 hücrelerinde TNF- α , IL-6 üretimini inhibe ettiği saptanmıştır. Tatar karabuğdayı ekstraktının, güçlü *in vitro* anti-enflamatuar aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir (Karki, Park ve Kim, 2013).

4.4. Hepatoprotektif etki

Kronik hastalıklara sebep olan karaciğer hasarına, reaktif oksijen ve azot türleri ile alkoller gibi çeşitli kimyasal maddelerin neden olduğu bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada, Tatar karabuğdayı ekstraktının sıçanlarda karbon tetraklorür (CCl₄) ve etanolün neden olduğu karaciğer hasarı üzerinde koruyucu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ekstraktların, süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırırken, karaciğer ve hepatik iltihaplanmanın bir göstergesi olan serum aspartat aminotransferaz gibi serum içindeki enzim aktivitelerinin artmasını engellediği belirlenmiştir (Lee, Shen, Lai ve Wu, 2013). Tatar karabuğdayında bulunan iki ana polifenol olan rutin ve kuersetinin fareler üzerinde hepatoprotektif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Janbaz, Saeed ve Gilani, 2002). Başka bir çalışmada, Tatar karabuğdayı tohum ekstraktının, CCl₄ ve D-galaktosamin tarafından indüklenen akut karaciğer hasarı olan farelerde serum alanin aminotransferaz (ALT) ve aspartat aminotransferaz (AST) aktivitelerini, doza bağlı olarak önemli derecede düşürdüğü gözlemlenmiştir (Kuwabara ve ark., 2008).

4.5. Antidiyabetik aktivite

Diyabet dünya genelinde 300 milyondan fazla insanı etkileyen önemli bir sağlık sorunudur. Tatar karabuğdayı geleneksel olarak Çin'de diyabet tedavisinde kullanılmaktadır. Karabuğdayın içerdiği D-chiro-inositolün insülin fonksiyonlarına geçici bir aracılık yaparak kan şekeri seviyesini düşüren insülin benzeri aktiviteye sahip olduğu belirtilmektedir. Tatar karabuğdayı ekstraktının D-chiro-inositol içeriği sayesinde Tip 2 diyabetik sıçanlarda kan glukoz seviyesini düşürerek hipoglisemik etki gösterdiği belirlenmiştir. Tatar karabuğdayı ile beslenen diyabetik hayvanlarda glukagon, trigliserit ve kan üre azotu gibi diğer faktörlerin seviyelerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Epidemiyolojik çalışmalar ile diyette Yaygın karabuğdayı tüketiminin kan şekeri konsantrasyonunu düşürmesi nedeniyle diyabet mellitusun, bir hastalığın toplumda görülme sıklığı olarak tanımlanan prevalansını azaltabileceği tespit edilmiştir (Yao ve ark., 2008; R. Zhang, Xu, Chen ve Zhang, 2010). Polifenoller, sindirim enzimlerine veya nişastaya bağlanarak kan şekeri seviyesini azaltabilmektedir (Zhu, 2016b). Tatar karabuğdayı ekstresi ve polifenollerinin nişasta sindirim enzimlerine (α -amilaz ve α -glikoamilaz) karşı inhibe edici aktiviteler gösterdiği *in vitro* çalışmalarla belirlenmiştir (Qin, Wu, Yao ve Ren, 2013). Rutin, diyabetik sıçanlarda glikoz ve lipidlerin metabolik bozukluğunu düzenleyen ve insülin direncini geliştiren ana biyoaktif bileşen olarak kabul edilmektedir (Liang, Zhang, Kang, Meng ve Yang, 2018).

4.6. Antibakteriyel aktivite

Karabuğdayın bazı gıda kaynaklı patojenlere ve *in vitro* bozulmaya neden olan mikroorganizmalara karşı umut verici antibakteriyel aktiviteler gösterdiği belirlenmiştir. *Fagopyrum cymosum* etanol ekstraktının, farelerde *Hemolytic streptococcus* ve *Pneumococcus*'un büyümesini önemli ölçüde sınırladığı gözlemlenmiştir. *Fagopyrum cymosum*'un bakteriyostatik aktivitesinden fenolikler ve flavonoidlerin sorumlu olduğu tespit edilmiştir (Jing ve ark., 2016). Tatar karabuğdayından elde edilen ekstraktlardaki kuersetin, isokuersetin ve rutin gibi fenolik bileşiklerin *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis* ve *S. aureus*'a karşı önemli antibakteriyel aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Bu fenolik bileşikler arasında da kuersetinin en yüksek antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir (Wang, Yang, Qin, Shan ve Ren, 2013).

4.7. Yorgunluğu önleyici aktivite

Tatar karabuğdayı proteininin belirgin bir anti-yorgunluk yeteneğine sahip olduğu belirlenmiştir. Tatar karabuğdayı ekstraktının, yüzmeye maruz bırakılan erkek Kunming farelerinde yorgunluk önleyici özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Farelerde laktik asit ve kandaki üre azotu üretimi azalırken, doku glikojen içeriği ve süperoksit dismutaz ile glutatyon peroksidaz aktivitelerinde artış belirlenmiştir. Karabuğdaydaki antioksidanların, yorgunluğa katkıda bulunan serbest radikalleri temizlemeye yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır (Jin ve Wei, 2011).

5. Karabuğdayı alerjileri

Karabuğdayı taneleri dengeli amino asit bileşimi ile yüksek biyolojik değere sahip protein içermesine rağmen, yeni yapılan araştırmalar bazı karabuğdayı proteinlerinin alerjik reaksiyonları tetikleyebileceğini göstermektedir. Karabuğdayı alerjisi ilk olarak literatürde 1909'da bildirilmiştir. Karabuğdayı alerjisinin çoğunlukla yer fıstığı alerjisine neden olabilen IgE aracılı reaksiyona benzer olduğu tespit edilmiştir (Tohgi ve ark., 2011). Yapılan araştırmalarda 24 kDa (Fag e 1), 26 kDa ve 67-70 kDa proteinlerinin önemli olduğu birkaç karabuğdayı alerjisi tanımlanmıştır. 11S veya 12S globüline homolog olan Fag e 1'in, bütün karabuğdayı alerjisi olan hastaların serum IgE'si ile reaksiyona girdiği tespit edilmiştir. Sindirime dirençli olan 16 kDa proteini (Fag e 2), karabuğdayı alerjisi olan Japon ve Koreli hastalarda ana karabuğdayı alerjisi olarak tanımlanmıştır. Karabuğdayı ürünlerine alerjinin ana semptomu, tüketimlerinden kısa bir süre sonra ortaya çıkan egzama veya ürtiker olarak belirlenmiştir. Daha ciddi alerjik reaksiyonların anafilaktik şok olarak bilinen kan basıncının hızlı bir şekilde düşmesiyle bağlantılı olarak hemorajik hastalığa neden olabileceği belirtilmiştir (Ahmed ve ark., 2014; Matsuo, Yokooji ve Taogoshi, 2015).

6. Sonuç

Karabuğday, tüketimi gün geçtikçe artan ve yüksek ekonomik değere sahip bitkiler arasında kabul edilmektedir. Pseudo-tahıl grubuna dahil olan karabuğday glutensiz gıda kaynağı olarak düşünülmektedir. İçerdiği önemli bileşenler ile özellikle Çin tıbbındaki geleneksel kullanımı dikkat çekmektedir. Geleneksel kullanımları yapılan farmakolojik çalışmalarla doğrulanmaktadır. Karabuğday tohumları temel amino asitler, diyet lifi, mineraller (Zn, Fe, K ve Mg), vitaminler (B, C ve E), D-chiro-inositol ve polifenoller için önemli bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Diyetle birlikte alınan karabuğdayın, dengeli bir beslenme için buğday ve pirinç gibi diğer temel tahıl ürünlerini tamamlayabileceği düşünülmektedir. İçerdiği bileşimin bir sonucu olarak, karabuğdayın, epidemiyolojik incelemenin yanı sıra, *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarla insan sağlığını olumlu yönde etkileme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle karabuğday, beslenmemizde yer alması gereken önemli bir gıda olarak değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- Anonim. 2019. Buckwheat. <http://en.wikipedia.org/wiki/buckwheat> (11.06.2019).
- Ahmed, A., Khalid, N., Ahmad, A., Abbasi, N. A., Latif, M. S. Z. ve Randhawa, M. A. (2014). Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: A review. *Journal of Agricultural Science*, 152(3), 349–369. doi:10.1017/S0021859613000166
- Bai, C. Z., Feng, M. L., Hao, X. L., Zhong, Q. M., Tong, L. G. ve Wang, Z. H. (2015). Rutin, quercetin, and free amino acid analysis in buckwheat (*Fagopyrum*) seeds from different locations. *Genetics and Molecular Research*, 14(4), 19040–19048.
- Bayraktar, A. ve Akbulut, G. (2013). Diyabet Mellitus'un Tıbbi Beslenme Tedavisinde Fitik Asit: Faydalı mı? Zararlı mı? *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(1). doi:10.1034/j.1399-3054.2003.00144.x
- Bhinder, S., Singh, B., Kaur, A., Singh, N., Kaur, M., Kumari, S. ve Yadav, M. P. (2019). Effect of infrared roasting on antioxidant activity, phenolic composition and Maillard reaction products of Tartary buckwheat varieties. *Food Chemistry*, 285(October 2018), 240–251. doi:10.1016/j.foodchem.2019.01.141
- Cai, Y., Luo, Q., Sun, M. ve Corke, H. (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences*, 74(17), 2157–2184. doi:10.1016/j.lfs.2003.09.047
- Chan, P. (2003). Inhibition of tumor growth in vitro by the extract of *Fagopyrum cymosum* (fago-c). *Life Sciences*, 72, 1851–1858. doi:10.1016/S0024-3205(03)00013-4
- Christa, K. ve Soral-Smietana, M. (2008). Buckwheat grains and buckwheat products - Nutritional and prophylactic value of their components - A review. *Czech Journal of Food Sciences*, 26(3), 153–162.
- Dizlek, H., Özer, M. S., İnanç, E. ve Gül, H. (2009). Karabuğday'ın (*Fagopyrum Esculentum* Moench) bileşimi ve gıda sanayiinde kullanım olanakları. *Gıda*, 34(5), 317–324.
- Dziadek, K., Kopeć, A., Pastucha, E., Piątkowska, E., Leszczyńska, T., Pisulewska, E., ... Francik, R. (2016). Basic chemical composition and bioactive compounds content in selected cultivars of buckwheat whole seeds, dehulled seeds and hulls. *Journal of Cereal Science*, 69, 1–8. doi:10.1016/j.jcs.2016.02.004
- FAOSTAT 2019 Online Database (Erişim adresi: <http://www.fao.org/faostat/en/>. Erişim tarihi: 15.04.2019)
- Giménez-Bastida, J. A., Piskula, M. ve Zieliński, H. (2015). Recent advances in development of gluten-free buckwheat products. *Trends in Food Science and Technology*, 44(1), 58–65. doi:10.1016/j.tifs.2015.02.013
- Gullón, B., Lú-Chau, T. A., Moreira, M. T., Lema, J. M. ve Eibes, G. (2017). Rutin: A review on extraction, identification and purification methods, biological activities and approaches to enhance its bioavailability. *Trends in Food Science and Technology*, 67, 220–235. doi:10.1016/j.tifs.2017.07.008
- Guo, Xiaona, Zhu, K., Zhang, H. ve Yao, H. (2010). Anti-Tumor Activity of a Novel Protein Obtained from Tartary Buckwheat. *International Journal of Molecular Sciences*, 11, 5201–5211. doi:10.3390/ijms11125201
- Guo, XuDan, Wu, C. Sen, Ma, Y. J., Parry, J., Xu, Y. Y., Liu, H. ve Wang, M. (2012). Comparison of milling fractions of tartary buckwheat for their phenolics and antioxidant properties. *Food Research International*, 49(1), 53–59. doi:10.1016/j.foodres.2012.07.019
- Hayıt, F. ve Gül, H. (2015). Karabuğday'ın Sağlık Açısından Önemi ve Unlu Mamüllerde Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(1), 123–132. <http://dergipark.gov.tr/ziraatuludag/issue/16765/174324> adresinden erişildi.
- Ishii, S., Katsumura, T., Shiozuka, C., Ooyouchi, K., Kawasaki, K., Takigawa, S., ... Ohba, K. (2008). Anti-Inflammatory Effect of Buckwheat Sprouts in Lipopolysaccharide-Activated Human Colon Cancer Cells and Mice. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 72(12), 3148–3157. doi:10.1271/bbb.80324
- Janbaz, K. H., Saeed, S. A. ve Gilani, A. H. (2002). Protective effect of rutin on paracetamol- and CCl4-induced hepatotoxicity in rodents. *Fitoterapia*, 73(7–8), 557–563. doi:10.1016/S0367-326X(02)00217-4
- Ji, X., Han, L., Liu, F., Yin, S., Peng, Q. ve Wang, M. (2019). A mini-review of isolation, chemical properties and bioactivities of polysaccharides from buckwheat (*Fagopyrum Mill*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 127, 204–209. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.01.043
- Jin, H. ve Wei, P. (2011). Anti-Fatigue Properties of Tartary Buckwheat Extracts in Mice. *International Journal of Molecular Sciences*, 12, 4770–4780. doi:10.3390/ijms12084770
- Jing, R., Li, H. Q., Hu, C. L., Jiang, Y. P., Qin, L. P. ve Zheng, C. J. (2016). Phytochemical and pharmacological profiles of three *Fagopyrum* buckweats. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(4). doi:10.3390/ijms17040589
- Kan, A. (2011). Konya Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Karabuğdayın (*Fagopyrum Esculentum* Moench) Bazı Kalite Özelliklerinin Araştırılması. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(4), 67–71.
- Karki, R., Park, C. H. ve Kim, D. W. (2013). Extract of buckwheat sprouts scavenges oxidation and inhibits pro-inflammatory mediators in lipopolysaccharide-stimulated macrophages (RAW264.7). *Journal of Chinese Integrative Medicine*, 11(4), 246–252. doi:10.3736/jintegrated2013036

- Katar, D., Olgun, M. ve Turan, M. (2016). Analysis of morphological and biochemical characteristics of buckwheat (*Fagopyrum Esculentum* Moench) in comparison with cereals. *CYTA - Journal of Food*, 14(2), 176–185. doi:10.1080/19476337.2015.1076522
- Kılıç, S. ve Elmacı, Y. (2018). Karabuğday: Bileşimi ve Gıdalarla Kullanılması. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(10), 1388–1401. doi:10.24925/turjaf.v6i10.1388-1401.2038
- Kuwabara, T., Han, K.-H., Hashimoto, N., Yamauchi, H., Shimada, K., Sekikawa, M. ve Fukushima, M. (2008). Tartary Buckwheat Sprout Powder Lowers Plasma Cholesterol Level in Rats. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 53(6), 501–507. doi:10.3177/jnsv.53.501
- Lee, C. C., Shen, S. R., Lai, Y. J. ve Wu, S. C. (2013). Rutin and quercetin, bioactive compounds from Tartary buckwheat, prevent liver inflammatory injury. *Food and Function*, 4(5), 794–802. doi:10.1039/c3fo30389f
- Li, D., Li, X. ve Ding, X. (2010). Composition and antioxidative properties of the flavonoid-rich fractions from Tartary buckwheat grains. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 711–716. doi:10.1007/s10068-010-0100-4
- Liang, W., Zhang, D., Kang, J., Meng, X. ve Yang, J. (2018). Biomedicine & Pharmacotherapy Protective effects of rutin on liver injury in type 2 diabetic db/db mice. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 107(February), 721–728. doi:10.1016/j.biopha.2018.08.046
- Ling, A., Li, X., Hu, X., Ma, Z., Wu, K., Zhang, H., ... Wei, S. (2018). Dynamic changes in polyphenol compounds, antioxidant activity, and PAL gene expression in different tissues of buckwheat during germination. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5723–5730. doi:10.1002/jsfa.9119
- Liu, H., Wang, L., Cao, R., Fan, H. ve Wang, M. (2016). In vitro digestibility and changes in physicochemical and structural properties of common buckwheat starch affected by high hydrostatic pressure. *Carbohydrate Polymers*, 144, 1–8. doi:10.1016/j.carbpol.2016.02.028
- Ma, Y. J., Guo, X. D., Liu, H., Xu, B. N. ve Wang, M. (2013). Cooking, textural, sensorial, and antioxidant properties of common and tartary buckwheat noodles. *Food Science and Biotechnology*, 22(1), 153–159. doi:10.1007/s10068-013-0021-0
- Macut, D., Bjekić-Macut, J., Rahelić, D. ve Doknić, M. (2017). Insulin and the polycystic ovary syndrome. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 130, 163–170. doi:10.1016/j.diabres.2017.06.011
- Mancini, M., Andreassi, A., Salvioni, M., Pelliccione, F., Mantellassi, G. ve Banderali, G. (2016). Myoinositol and D-Chiro Inositol in Improving Insulin Resistance in Obese Male Children: Preliminary Data. *International Journal of Endocrinology*, 2016, 1–5. doi:10.1155/2016/8720342
- Matsuo, H., Yokooji, T. ve Taogoshi, T. (2015). Common food allergens and their IgE-binding epitopes. *Allergology International*, 64(4), 332–343. doi:10.1016/j.alit.2015.06.009
- Mir, N. A., Riari, C. S. ve Singh, S. (2018). Nutritional constituents of pseudo cereals and their potential use in food systems: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 75(March), 170–180. doi:10.1016/j.tifs.2018.03.016
- Mitsunaga, T., Matsuda, M., Shimizu, M. ve Iwashima, A. (1986). Isolation and properties of Thiamine-binding protein from buckwheat seed. *Cereal Chemistry*, 6(4), 332–335.
- Molinari, R., Costantini, L., Timperio, A. M., Lelli, V., Bonafaccia, F., Bonafaccia, G. ve Merendino, N. (2018). Tartary buckwheat malt as ingredient of gluten-free cookies. *Journal of Cereal Science*, 80, 37–43. doi:10.1016/j.jcs.2017.11.011
- Pongrac, P., Potisek, M., Fraš, A., Likar, M., Budič, B., Myszka, K., ... Kreft, I. (2016). Composition of mineral elements and bioactive compounds in Tartary buckwheat and wheat sprouts as affected by natural mineral-rich water. *Journal of Cereal Science*, 69, 9–16. doi:10.1016/j.jcs.2016.02.002
- Qin, P., Wu, L., Yao, Y. ve Ren, G. (2013). Changes in phytochemical compositions, antioxidant and α -glucosidase inhibitory activities during the processing of tartary buckwheat tea. *Food Research International*, 50(2), 562–567. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.028
- Şensoy, İ., Rosen, R. T., Ho, C. T. ve Karwe, M. V. (2006). Effect of processing on buckwheat phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 99(2), 388–393. doi:10.1016/j.foodchem.2005.08.007
- Sieri, S. ve Krogh, V. (2017). Dietary glycemic index, glycemic load and cancer: An overview of the literature. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 27(1), 18–31. doi:10.1016/j.numecd.2016.09.014
- Tohgi, K., Kohno, K., Takahashi, H., Matsuo, H., Nakayama, S. ve Morita, E. (2011). Usability of Fag e 2 ImmunoCAP in the diagnosis of buckwheat allergy. *Archives of Dermatological Research*, 303(9), 635–642. doi:10.1007/s00403-011-1142-z
- Tsai, H., Deng, H., Tsai, S. ve Hsu, Y. (2012). Bioactivity comparison of extracts from various parts of common and tartary buckwheats: evaluation of the antioxidant- and angiotensin-converting enzyme inhibitory activities. *Chemistry Central Journal*, 6(1), 1. doi:10.1186/1752-153X-6-78
- Wajid, M., Aslam, M. S. ve Uzair, M. (2015). Genus *Fagopyrum*: Phytochemical and Ethnopharmacological Review. *Indian Research Journal of Pharmacy and Science*, 2(2), 1–14.
- Wang, L., Yang, X., Qin, P., Shan, F. ve Ren, G. (2013). Flavonoid composition, antibacterial and antioxidant properties of tartary buckwheat bran extract. *Industrial Crops & Products*, 49, 312–317. doi:10.1016/j.indcrop.2013.04.039
- Wijngaard, H. H. ve Arendt, E. K. (2006). Buckwheat. *Cereal Chemistry*, 83(4), 391–401. doi:10.1201/9780203711248
- Yang, J., Guo, J. ve Yuan, J. (2008). In vitro antioxidant properties of rutin. *LWT - Food Science and Technology*, 41(6), 1060–1066. doi:10.1016/j.lwt.2007.06.010
- Yao, Y., Shan, F., Bian, J., Chen, F., Wang, M. ve Ren, G. (2008). D-chiro-inositol-enriched tartary buckwheat bran extract lowers the blood glucose level in KK-Ay mice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(21), 10027–10031.
- Yiming, Z., Hong, W., Linlin, C., Xiaoli, Z., Wen, T. ve Xinli, S. (2015). Evolution of nutrient ingredients in tartary buckwheat seeds during germination. *Food Chemistry*, 186, 244–248. doi:10.1016/j.foodchem.2015.03.115
- Yıldız, N. ve Yalçın, E. (2013). Karabuğdayın Kimyasal, Besinsel ve Teknolojik özellikleri. *Gıda*, 38(6), 383–390. doi:10.5505/gida.2013.43153
- Zhang, R., Xu, G., Chen, W. ve Zhang, W. (2010). Genetic Polymorphisms of Glutathione S -Transferase P1 and Bladder Cancer Susceptibility in a Chinese Population. *Genetic Testing and Molecular Biomarkers*, 15(1–2), 85–88. doi:10.1089/gtmb.2010.0162

- Zhang, Z. L., Zhou, M. L., Tang, Y., Li, F. L., Tang, Y. X., Shao, J. R., ... Wu, Y. M. (2012). Bioactive compounds in functional buckwheat food. *Food Research International*, 49(1), 389–395. doi:10.1016/j.foodres.2012.07.035
- Zheng, C., Hu, C., Ma, X., Peng, C., Zhang, H. ve Qin, L. (2012). Cytotoxic phenylpropanoid glycosides from *Fagopyrum Tataricum* (L.) Gaertn. *Food Chemistry*, 132(1), 433–438. doi:10.1016/j.foodchem.2011.11.017
- Zhu, F. (2016a). Buckwheat starch: Structures, properties, and applications. *Trends in Food Science and Technology*, 49, 121–135. doi:10.1016/j.tifs.2015.12.002
- Zhu, F. (2016b). Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 203, 231–245. doi:10.1016/j.foodchem.2016.02.050



Kestane/Gürgen Talaşı Dolgulu Vinilester Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

İlyas Kartal^{1*}, Gülşah Naycı², Halil Demirer³

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9677-477X)

² Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilimdalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7628-2524)

³ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7870-5797)

(İlk Geliş Tarihi 17 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 22 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.566756)

ATIF/REFERENCE: Kartal, İ., Naycı, G. & Demirer, H. (2019). Kestane/Gürgen Talaşı Dolgulu Vinilester Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 723-728.

Öz

Petrol esaslı geleneksel kompozitler toksiktirler ve biyolojik olarak parçalanamazlar; geri dönüştürülmeleri zor ve pahalıdır. Bu sebeple günümüzde çevresel kaygılar, artan atık problemleri, azalan doğal kaynaklar gibi önemli problemlere olası çözümler bulması için bileşenleri yenilenebilir kaynaklardan gelen kompozit (yeşil kompozit) üretimi teşvik edilmektedir. Bu çalışmada 150 µm boyutundaki atık kestane ve gürgen talaşları vinilester matriste dolgu olarak kullanılmıştır. Çalışmada, kestane talaşı-vinilester, gürgen talaşı-vinilester, kestane+gürgen talaşı-vinilester kombinasyonları hazırlanmıştır. Her bir kombinasyon ağaç talaşı/reçine ağırlık oranı %5, %10, %15, %20 olacak şekilde 4 oranda hazırlanmış, çalışmada toplam 12 farklı kompozit numunesi kullanılmıştır. Çalışmada kestane ve gürgen talaşlarının kompozitte dolgu olarak kullanımının incelenmesinin yanı sıra dolgu oranı etkisi de incelenmiştir. Numunelerin çekme, 3 nokta eğme, darbe ve sertlik gibi mekanik özellikleri incelenmiş ve test sonuçları grafiklerle yorumlanmıştır. Numunelerin SEM görüntüleri incelenmiştir. Vinilester içinde dolgu oranı artmasıyla mekanik özelliklerinde kısmi iyileşme gözlemlendi. Kestane ile gürgen talaşları kıyaslandığında aralarında büyük bir fark olmamasına karşın kestane dolgulu kompozitlerin mekanik özellikleri daha yüksek olduğu, ideal dolgu oranının ise %10 olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil kompozitler, Vinilester reçinesi, Kestane Talaşı, Gürgen Talaşı.

Investigation of the Mechanical Properties of Chestnut/Hornbeam Sawdust Filled Vinyl Ester Composites

Abstract

Petroleum-based conventional composites are toxic and not biodegradable; they are difficult to recycle and expensive. Nowadays, composite (green composite) production from renewable sources is encouraged to find possible solutions to important problems such as environmental concerns, increased waste problems, and reduced natural resources. In this study, 150 µm waste chestnut and hornbeam wood sawdust were used as filler in vinyl ester matrix. In this study, chestnut sawdust-vinylester, chestnut sawdust-vinylester, chestnut + hornbeam sawdust-vinylester combinations were prepared. Each combination of wood sawdust/resin weight ratio of 5%, 10%, 15%, 20% was prepared in 4 proportions, a total of 12 different composite samples were used in the study. In this study, the use of chestnut and hornbeam sawdust as fillers in the composite was examined as well as the fill rate effect. Mechanical properties such as tensile, 3 point bending, impact and hardness of the samples were examined and test results were interpreted with graphics. SEM images of the samples were examined. Improvement in mechanical properties was observed with increasing filler ratio in vinyl ester. Compared to

* Sorumlu Yazar: Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9677-477X, ilyaskartal@marmara.edu.tr

chestnut and hornbeam chips, there was no significant difference, but it was found that chestnut filled composites had higher mechanical properties and an ideal fill rate of 10%.

Keywords: Green composites, Vinylester resin, Chestnut Sawdust, Hornbeam Sawdust.

1. Giriş

İnsanoğlunun artan ihtiyaçları, mühendislik alanında her geçen gün yeni çalışmalar doğurmaktadır. Tek bileşenle erişilemeyen özelliklere sahip bir malzeme üretmek için birkaç bileşeni birleştirme fikri ise bu ihtiyaçlara cevap vermekte önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla günümüzde yapılan mühendislik çalışmalarının kayda değer kısmı kompozit malzemeler üzerindedir (Vasiliev ve ark 2013).

Kompozitler, iki ya da daha fazla malzemenin uygun özelliklerini tek bir malzemede toplamak ve daha üstün yeni özellikler elde etmek için birden fazla malzeme veya fazın uygun bir yöntemle birleştirilmesi sonucu elde edilen malzemelerdir. Farklı durumlara uyulanabilme, spesifik amaçlara hizmet etme, arzu edilen özellikleri sergileme, kimyasallara ve korozyona karşı dayanıklılık, yüksek dayanıklılık/yoğunluk oranı, yüksek modül/ağırlık oranı, hafiflik gibi olumlu özellikleriyle oldukça sık tercih edilen bir malzeme sınıfıdır. Havacılık, uzay ve savunma sanayi, kara ve deniz taşıtları, spor malzemeleri, inşaat, alt yapı ve enerji sektörü gibi çok geniş ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Jose ve ark. 2012, Sabu ve ark. 2012, Kandpal ve ark. 2015).

Fakat tüm bu avantajlara rağmen petrol esaslı geleneksel kompozitler toksiktirler ve biyolojik olarak parçalanamazlar. Kullanım ömrünü tamamlamış geleneksel kompozit malzemelerin geri dönüştürülmeleri zor ve pahalıdır, bazen gömülerek bazen de yakılarak imha edilirler. İmha edilen malzemelerin oluşturduğu kirlilik ve hızla azalmakta olan doğal kaynaklar ise gelecek için büyük sorun oluşturmaktadır. Bu sebeple son yıllarda çevresel endişeler ve yasal mercilerin talepleriyle birlikte; çevre dostu, sürdürülebilir hammaddelere olan ilgi de artmıştır. Mühendislik uygulamalarındaki kompozitlerde takviye malzemesi olarak doğal liflerin, dolgu malzemesi olarak ise odun materyallerinin kullanımı giderek yaygınlaşmış, yeşil kompozitler kavramı önem kazanmaya başlamıştır (Santulli ve ark. 2013, Yan ve ark. 2014).

Yeşil kompozitler, bileşenlerden en az birinin, doğal kaynaklardan elde edildiği özel bir kompozit sınıfıdır. Biyolojik olarak parçalanabilme, çevresel problemlere ve azalan kaynaklara çözüm bulma, kolay işlenebilme, cildi tahriş etmeme, uygun maliyet, esneklik artışı, ses yalıtımı, geri dönüşüm gibi olumlu özellikleri geleneksel kompozitlere alternatifler sunmaktadır. Doğal liflerden ve biyolojik olarak parçalanabilir polimerlerden meydana gelmesi sebebiyle 21. yüzyılda çevre sorununa önemli bir katkı sağlayacağı ve azalan petrol kaynakları için de umut verici bir potansiyel olacağı düşünülmektedir.

Tüm bu olumlu özelliklerle, yeni çevre dostu polimerik kompozit malzeme olarak ortaya çıkan yeşil kompozitler, ticari ve mühendislik uygulamalarında tekno-ekonomik avantajlar sunmakta ve global pazardan çok yüksek bir baskıya sahip olmaktadır. Bu sebeple günümüzde, bilim insanları ve araştırmacılar için, mevcut pazarda bulunan çeşitli polimerlerin özelliklerini ve uygunluğunu, yeşil kompozit için matris malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacaklarını araştırmak gittikçe önem kazanmaktadır (Thakur ve ark. 2014, Paul ve ark. 2003).

Bu çalışmada da matris malzemesi olarak vinilester polimeri, doğal dolgu olarak ise kestane ve gürgen talaşları kullanılarak bir yeşil kompozit üretimi yapılmıştır.

Vinilester reçineleri, epoksi ile doymamış asitin reaksiyona girmesiyle elde edilmektedir. Stiren monomerinde çözülmüş metakrilik asit ve bisfenol A (BPA) epoksi reçinesinin reaksiyonu en yaygın versiyonudur. Çevre koşullarına dayanıklılığı ile bilinir çünkü yüksek reaktiviteleri tam kürlenmeye polyesterlerden daha kolay ve daha hızlı ulaşmaktadır. Vinilester reçineler, epoksi reçinelerin avantajları ile doymamış polyester reçinelere özgü kolay işleme/hızlı sertleşme gibi özellikleri birleştirmek üzere geliştirilmiştir. Aynı zamanda mekanik dayanım ve mükemmel korozyon dayanımı sağlamaktadır. Bu üstün özellikleri sayesinde epoksi reçinelerdeki gibi karmaşık proses veya özel kullanım becerisi gerektirmezler. Bu sebeple çalışmamızda matris malzemesi olarak vinilester reçinesi seçilmiştir (Blankenship ve ark. 1989, Astrom 1997).

Literatürde doğal dolgu ile takviyelendirilmiş pek çok yeşil kompozit çalışması mevcuttur.

Johnson ve ark. tarafından yapılan çalışmada plastik kompozitlerde güçlendirici dolgu maddesi olarak buğday sapının ticari olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Buğday sapı ilavesiyle, kompozitlerin çekme direncinin %3'den %162'ya kadar, eğilme direncinin %13'den %48'e kadar arttığı, %30 buğday sapı kompozitlerinde çekme-elastikiyet modülü değerlerinin iki kat daha yüksek olduğu bulunmuştur (Johnson ve ark. 1997). Bir başka çalışmada Ajiwe ve ark. pirinç kabuğu ve talaşı gibi tarımsal atıklardan taban döşemeleri için levhalar üretilmiş, yapılan testler sonucunda üretilen levhaların ticari olarak mevcut levhalara benzer standartlarda olduğunu rapor etmişlerdir (Ajiwe ve ark. 1998). Panthapulakkal ve ark. eski gazete kâğıdı, odun talaşı ve tarımsal atıklar ile hazırlanan kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiş, termoplastikler için alternatif dolgu maddesi olarak tarımsal atıkların uygun olduğunu rapor etmişlerdir (Panthapulakkal ve ark. 2006). Kurt ve Mengeloğlu ise yakılarak kullanılan orman endüstri atığının ve tarımsal atıkların, un haline getirilerek ya da liflendirilerek termoplastiklerle karıştırılması sonucunda maliyeti ve son ürünün özelliklerini iyileştirdiğini belirtmiş, bu atıkların odun-plastik kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılmasını önermişlerdir (Kurt ve ark. 2006).

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada doğal dolgu malzemesi olarak; 150 µm'lik elekten geçirilmiş 0-150 µm boyutunda atık kestane ve gürgen talaşları kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak ise el yatırma yöntemi için en ideal olan Bisphenol-A epoksi esaslı vinilester reçinesi (E275-Erco Boya, İstanbul) seçilmiştir. Reaksiyon başlatıcı olarak ise %50 aktif metil etil keton peroksit (Erco Boya, İstanbul) kullanılmıştır. Hızlandırıcı olarak kullanılan kobalt naftalat reçine bünyesinde bulunduğu için haricen kullanılmamıştır. Ayrıca standart çekme, üç nokta eğme, darbe ve sertlik numunelerini hazırlamak için Teflon kalıp kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada Kullanılan Gürgen (a) ve Kestane (b) Talaşları

2.1.1. Numunelerin Hazırlanması

Kestane ve gürgen ağacı talaşları, deneyde kullanılmadan kurumaları için etüvde bir süre bekletilmiş, daha sonra çalışmada kullanılmıştır. Kurutulan talaşlar elekten geçirilerek 150 µm boyutunda talaşlar elde edilmiştir. Çalışmada üretilen kompozitler; kestane talaşı-vinilester, gürgen talaşı-vinilester, kestane+gürgen talaşı-vinilester kombinasyonlarındadır. Her bir kombinasyon talaş/reçine ağırlık oranı %5, %10, %15, %20 olacak şekilde 4 oranda üretilmiş, çalışmada toplam 12 farklı kompozit çeşidi kullanılmıştır. Talaşlar %5,10,15 ve 20 oranlarıyla vinilester reçineye ilave edilmiş, homojen bir hal alması için bir süre karıştırma işlemi uygulanmıştır. Reçinenin sertleşebilmesi için %2 oranında metil etil keton peroksit sertleştirici ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım, düzgün bir yüzey üzerindeki Teflon kalıba dökülmüştür. Kür uygulaması için numuneler oda sıcaklığında 16 saat boyunca bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır.



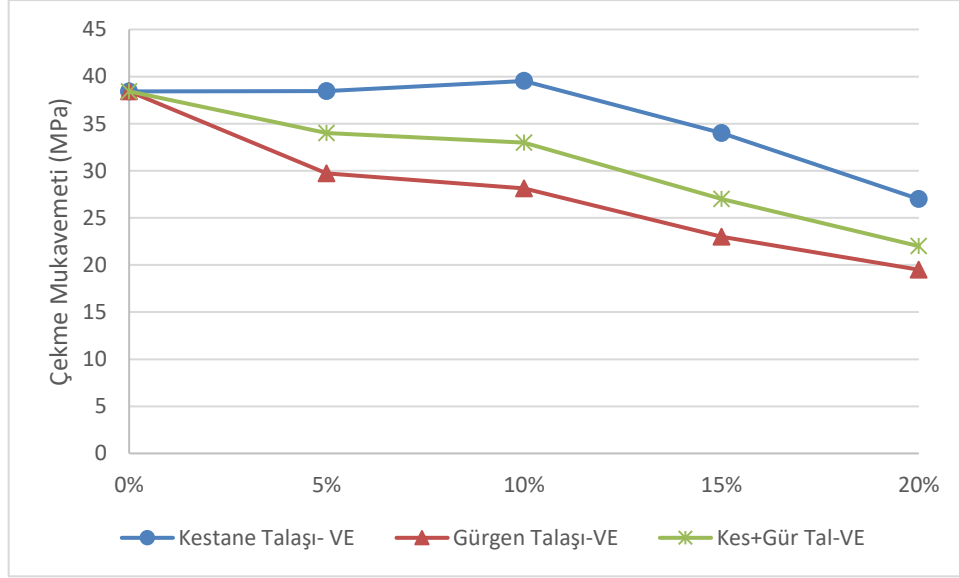
Şekil 2. Teflon kalıptaki numuneler

ISO 527 standardına göre hazırlanan numunelerin çekme deneyi, Zwick Z010 universal çekme cihazında 5 mm/dakika çekme hızı ile yapılmıştır. ISO 179 standardına göre hazırlanan numunelerin üç nokta eğme testi de Zwick Z010 model cihaz da 5 mm/dakika hızla yapılmıştır. ISO 180 standardına göre hazırlanan çentiksiz numunelerin darbe mukavemeti, Zwick B5113.30 darbe cihazında 5,4 J'lük Izod çekici kullanılarak test edilmiştir. Sertlik ölçümleri Zwick Shore D cihazında, 15 sn. süre beklenilerek yapılmıştır. Yapılan testlerde her bir grup için 5 numune hazırlanmış olup ortaya çıkan değerlerin ortalaması alınmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

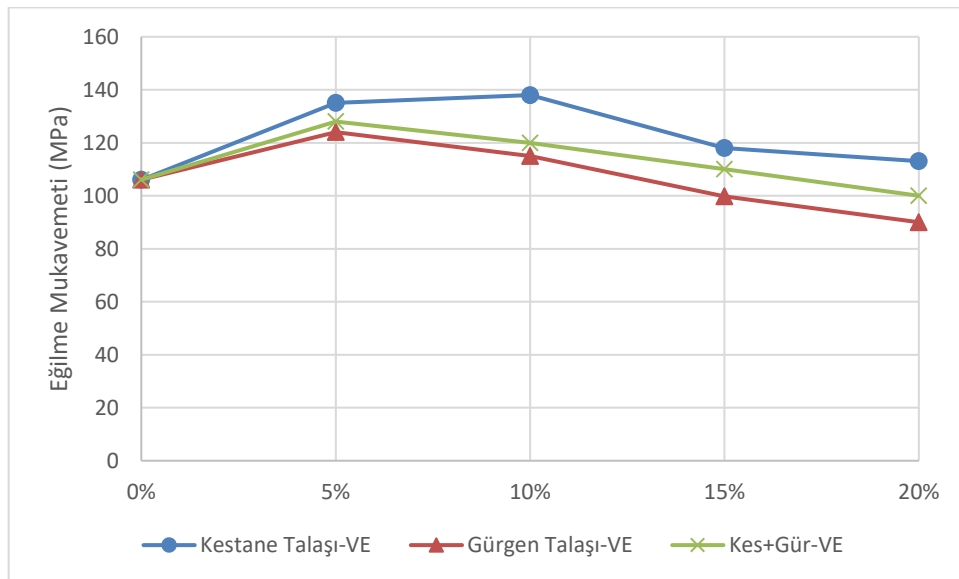
Bu çalışmada kestane ve gürgen talaşlarının kompozitte dolgu olarak kullanımının incelenmesinin yanı sıra dolgu oranı etkisi de incelenmiştir. Bunun için numuneler çekme, 3 nokta eğme, darbe ve sertlik testlerine tabi tutulmuş mekanik özellikleri ve SEM görüntüleri incelenmiştir.

Çekme mukavemetinin talaş türüne ve oranına göre değişimi şekil 3'te verilmiştir. Kompozitler arasında en yüksek çekme mukavemetine kestane talaşı dolgulu vinilester kompozitleri ulaşmıştır. Kestane talaşı dolgulu kompozitlerde en yüksek çekme mukavemeti değerine ise %10 oranında ulaşılmıştır. En düşük çekme mukavemetine sahip olan kompozit ise dolgu/reçine ağırlık oranı %20 olan gürgen talaşı dolgulu vinilester kompozitidir. Yine bu sonuca göre, kompozitlerin genelinde talaş ağırlık oranının artmasıyla çekme mukavemetinde bir azalma meydana geldiği de görülmektedir.



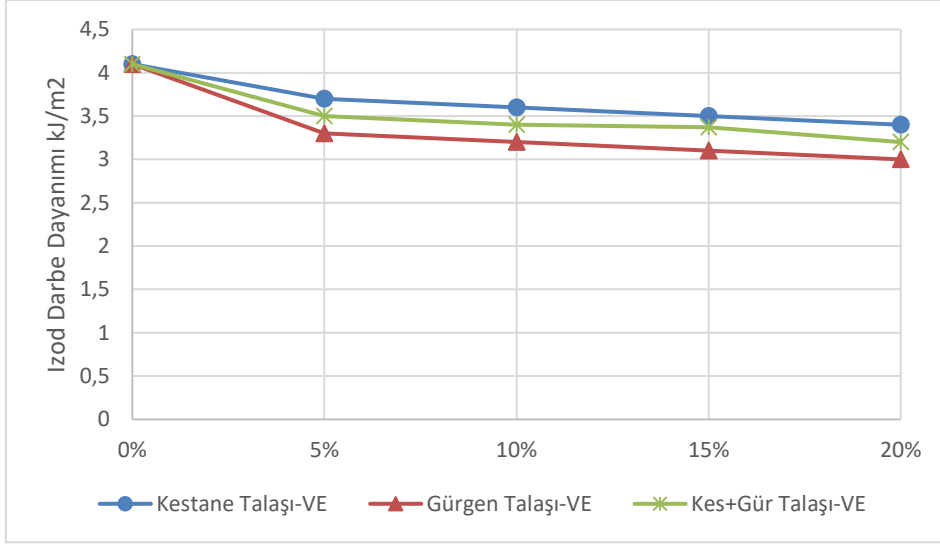
Şekil 3. Çekme Mukavemetinin Talaş Türüne ve Oranına Göre Değişimi

Üç nokta eğilme mukavemetinin talaş türüne ve oranına göre değişimi şekil 4'te verilmiştir. Eğilme mukavemetleri karşılaştırıldığında en yüksek eğilme mukavemetine kestane talaşı dolgulu vinilester kompozitinin (%10) ulaşıldığı görülmektedir. Gürgen talaşı vinilester kompoziti (%20) en düşük eğilme mukavemetine sahiptir.



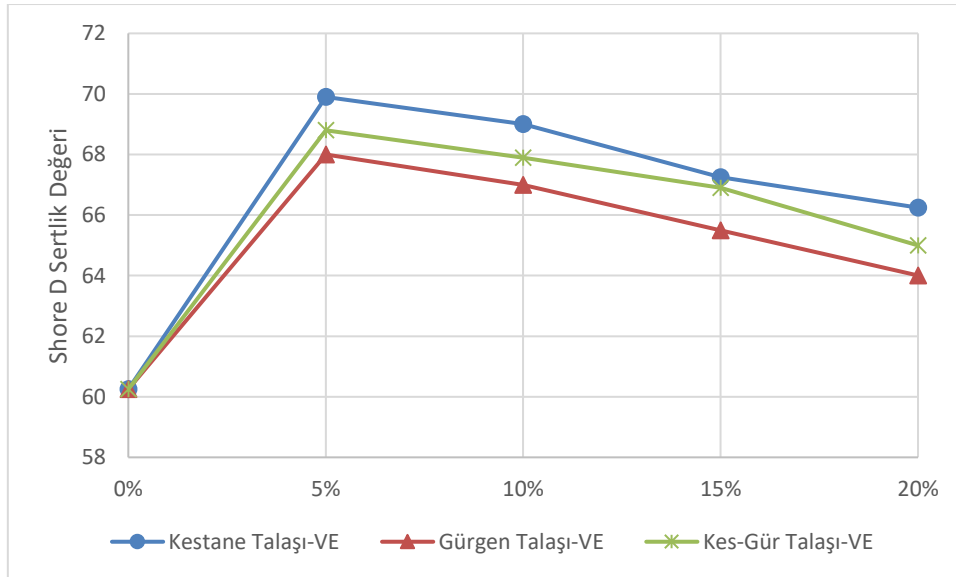
Şekil 4. Eğilme Mukavemetinin Talaş Türüne ve Oranına Göre Değişimi

Izod darbe dayanımının talaş türüne ve oranına göre değişimi şekil 5'te verilmiştir. Talaş ilavesi ile darbe direncinde azalma meydana gelmiştir. En yüksek darbe mukavemetine sahip kompozit kestane talaşı-vinil ester kompozitidir (%5).

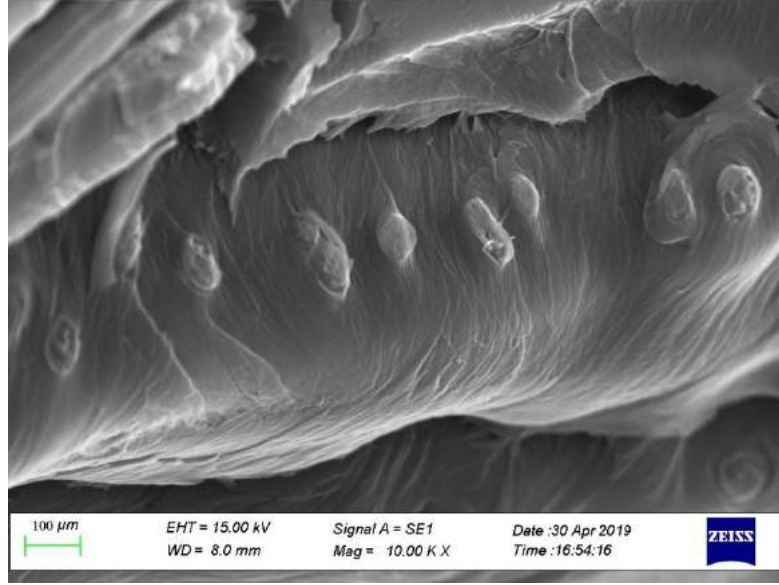


Şekil 5. Izod Darbe Dayanımının Talaş Türüne ve Oranına Göre Değişimi

Shore D sertlik değerinin lif türüne ve oranına göre değişimi şekil 6'da verilmiştir. Ağaç talaşı ilavesi ile sertlik değerlerinde artış meydana geldiği gözlenmiştir. Grafiğe göre en yüksek sertlik değerine sahip kompozit, kestane talaşı dolgulu vinilester kompozitidir. %5 oranı sonrası genel olarak sertlik değerlerinde düşme görülmektedir. Sertlik testini; talaş oranı miktarının artmasıyla gözenek oluşumunun artması, karışılabilirlik ve akışkanlığın azalması, dökümün zorlaşması gibi faktörler etkilemiştir. Talaş oranı arttıkça sertlik değerlerinde azalma meydana gelmesi de bu sebeplere bağlanmaktadır.



Şekil 5. Shore D Sertlik Değerinin Talaş Türüne ve Oranına Göre Değişimi



Şekil 6. Kompozite Ait Tipik Bir SEM Görüntüsü

4. Sonuç

Bu çalışmada kestane ve gürgen talaşlarının kompozitte dolgu olarak kullanımı incelenmiştir. Vinilester kompozitte dolgu oranı artmasıyla bir miktar mekanik özelliklerinde iyileşme gözlemlenmiştir. %10 oranında bir kestane veya gürgen dolgusunun kullanılabilir olduğu değerlendirilmiştir. Yine kestane ile gürgen talaşları kıyaslandığında aralarında bariz bir fark olmamasına karşın kestane dolgulu kompozitlerin mekanik özellikleri daha yüksek tespit edilmiştir. Özellikle tarım ve el aletleri yapımında tercih edilmiş/edilen kestane ağacının iyi mekanik özelliklere sahip olmasının kompozitin mekanik özelliklerine yansıdığı belirlenmiştir. Bu çalışma neticesinde özellikle kestane ağacı talaşının kompozit uygulamalarında dolgu olarak kullanılabilceği değerlendirilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından FEN-C-YLP-121218-0623 (2019) nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- Valery V., Evgeny M. (2013). Advanced Mechanics of Composite Materials and Structural Elements (third edition): Elsevier.
- Jose A.M., Kim Y.A., Leal-Ekman S., Hunter C.P. (2012). Conserved tyrosine kinase promotes the import of silencing RNA into *Caenorhabditis elegans* cells, Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 109: 14520–14525.
- Sabu, T., Kuruvilla J.; Kumar, M., Goda, K., Sreekala M. S. (2012). Introduction to Polymer Composites, Polymer Composites, Volume 1, First Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co 209.
- Kandpal, B.C., Chaurasia, R., Khurana, V. (2015). Recent Advances in Green Composites – A Review, International Journal For Technological Research In Engineering (IJTRE) vol. 2, Issue 7, March. 2015.
- Santulli, C., Sarasini, F., Tirillò, J., Valente, T., Valente, M., Caruso, A.P., Infantino, M., Nisini, E., Minak, G. (2013). Mechanical Behaviour of Jute Cloth/Wool Felts Hybrid Laminates, Materials and Design, vol. 50, pp. 309–321.
- Yan, L., Chouw, N., Jayaraman, K. (2014). Flax Fibre and Its Composites, Composites: Part B Engineering (Compos Part B- Eng), vol. 56, pp. 296-317.
- [Thakur, V. K., Thakur, M.K., Gupta, R.K. (2014). Review: Raw Natural Fiber–Based Polymer Composites, International Journal of Polymer Anal. Charact. (IJPAC), vol. 19, pp. 256–271.
- Paul, W., Jan, I., Ignas, V. (2003). Natural Fibers: Can They Replace Glass in Fiber Reinforced Plastics, Comput Sci Technol, vol. 63, pp.1259–1264.
- Blankenship, L.T., White, M.N., Puckett, P.M. (1989). Vinyl Ester Resins: For Composites, Dow Chemical U.S.A, Freeport, Texas, pp. 1-36.
- Panthapulakkal, S., Sain, M. (2006). Injection molded wheat straw and corn stem filled polypropylene composites, Journal of Polymers and the Environment, 14:265-272.
- Astrom, B.T. (1997). Manufacturing of Polymer Composites, Department of Aeronautics, Royal Insitute of Technology, Chapman & Hall, pp. 1-175.



DC Elektrikli Raylı Sistemler İçin Teknik ve Ekonomik Açından Verimlilik Analizi

Ahmet Yıldız^{1*}, Oktay Arıkan²

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

(İlk Geliş Tarihi 28 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.571167)

ATIF/REFERENCE: Yıldız A. & Arıkan O. (2019). DC Elektrikli Raylı Sistemler İçin Teknik ve Ekonomik Açından Verimlilik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 729-739.

Öz

Elektrik enerjisinin kullanıldığı bütün sistemlerde enerji verimliliği çalışmaları yaygınlaşmaktadır. Bu durum büyük güç gerektiren raylı toplu taşıma sistemlerinde de önem arz etmektedir. Özellikle, mega kentlerde kullanılan metro ve tramvayların elektrik tüketimi azımsanmayacak seviyelere ulaşmaktadır. Örneğin İstanbul raylı toplu taşıma sistemi, yılda yaklaşık 300 milyon kWh enerji tüketmektedir. Tüketilen enerji dağılımları tramvay ve metro hatlarında farklılık göstermektedir. Tüketilen enerji miktarları dikkate alındığında, enerji verimliliğini artırma çalışmalarının sağlayacağı teknik ve ekonomik faydalar daha da anlamlı hale gelmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul şehir içi raylı ulaşım sisteminden seçilen örnek bir bölge için DC yük akışı analizleri gerçekleştirilmiştir. RAILSİM yazılımı kullanılarak yapılan modelleme ile hat paralelleme ve tren yüküne bağlı olarak teknik ve ekonomik değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Farklı çalışma durumları için gerçekleştirilen teknik ve ekonomik verimlilik analizlerinden elde edilen sonuçların etkileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Raylı sistemler, Enerji verimliliği, RAILSİM, DC yük akış analizi.

Technical And Ecnomical Efficiency Analysis For DC Electric Railway Systems

Abstract

Energy efficiency studies are becoming widespread in all systems where electrical energy is used. This situation is also important in rail public transportation systems that require great power. In particular, the electricity consumption of subway and trams used in mega-cities reaches a considerable level. For example, Istanbul urban public transportation system consumes about 300 million kWh of energy per year. The energy distribution consumed differs in tram and subway lines. Taking into account the amount of energy consumed, the technical and economic benefits of the efforts to increase energy efficiency are becoming more significant.

In this study, DC load flow analysis was performed for a sample area selected from the Istanbul urban public transportation system. Technical and economic evaluations have been carried out by modeling using RAILSİM software, depending on line parallelism and train load. The effects of the results obtained from technical and economic efficiency analyzes for different working situations are presented.

¹ Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0000-0000-0000, ahmetyldz91@gmail.com

Keywords: Railway systems, Energy efficiency, RAILSIM, CD load flow analysis.

1. Giriş

Günümüzün modern şehircilik anlayışında, özellikle büyük kentlerdeki nüfus yoğunluğu nedeniyle ulaşım önemli bir problem olmaya başlamıştır. Bu nedenle alternatif çözüm yolları aranmaktadır. Merkezi ve Yerel yönetimler yeni ulaşım planları düzenleyerek toplu taşımayı teşvik etmektedirler. Toplu taşıma denilince akla ilk gelen konvansiyonel taşıtlar modern şehircilik anlayışıyla yerini daha konforlu, verimli, ekonomik ve entegre olan raylı sistemlere bırakmaktadır. Metropollerde kent içi raylı sistemler hız, konfor, güvenilirlik ve çevre dostu oluşlarıyla büyük şehirlerin vazgeçilmezi olmalarıyla birlikte, sundukları yüksek taşıma kapasitesi ile de ön plana çıkmaktadırlar.

Raylı sistemlerde elektrik güç talebi ve enerji tüketimi sabit olmayıp, zamana, ağ içinde çalışan trenlere, yolcu sayısına ve iletişim sistemlerine bağlı olarak sürekli değişmektedir. Raylı sistemi oluşturan tüm alt sistemlerin etkileşimleri karmaşık olduğundan enerji tüketimlerini öngörmek ve değerlendirmek zordur. Bu nedenle, enerji verimliliğini iyileştirmek, detaylı çalışmaların yapılması, uygun yöntemlerin kullanılması ve elde edilen sonuçların hassas analizlerinin gerçekleştirilmesi ile mümkün olabilmektedir.

1990'lerden itibaren tüm dünyada ve ülkemizde kullanımı yaygınlaşan raylı toplu taşıma sistemlerinde enerji iletim sistemleri ve gerilim seviyeleri çeşitlilik göstermektedir. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan gerilim seviyeleri, 34,5 kV/580 V AC cer transformatörü çıkışından doğrultucu grubuna gönderilerek 750 V DC ve 34,5/1200 V AC cer transformatörü çıkışından 1500 V DC elde edilerek kullanılan gerilim seviyeleridir. Genelde, her transformatör merkezinde çift cer ve iç ihtiyaç transformatörleri ile işletme sağlanmaktadır. Büyük güç gerektiren raylı ulaşım sistemlerinde yapılacak küçük bir verimlilik çalışmasının bile maddi karşılığının yansımaları azımsanmayacak seviyede olacağından işletmesel açıdan optimizasyon çalışmalarının yapılması büyük önem arz etmektedir.

İstanbul, nüfus, kent içi ulaşım sistemi ve enerji tüketimi açısından önemli bir merkez olarak karşımıza çıkmaktadır. 154,25 kilometre uzunluğa sahip İstanbul, raylı toplu taşıma sistemi, yılda yaklaşık 300 milyon kWh enerji tüketmektedir. Tüketilen enerji dağılımları, metro hatlarında %45'i trenlerin hareketi %55'i de iç ihtiyacı karşılamak amacıyla kullanılırken, tramvay gibi yer üstünden giden raylı ulaşım sistemleri için bu durum %95'i trenlerin hareketi %5'i de iç ihtiyaç için kullanılmaktadır. Hızla inşaatı devam eden raylı sistemlerle birlikte 2023 sonrası nihai hedefte İstanbul raylı toplu taşıma sistemi hat uzunluğunun 1000 kilometreye yaklaşması beklenmektedir.

Ulaşım sektörü gelişen ve gelişmekte olan ülkelerde en çok enerji tüketen ve çevreyi kirleten işletmelerden biridir. Örneğin, Avrupa Birliği'nde toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %31'ine neden olmaktadır. Bu sektör içinde Büyükşehir taşımacılığı toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık %25'inden sorumludur [1]. Buna ek olarak yüksek hava kirliliği ve trafik sıkışıklığı kentsel alanlardaki ulaşım ile ilgili önemli konulardır. Raylı ulaşım sistemlerine, yüksek taşıma kapasitesi, güvenilirliği, yerel emisyonlarının olmaması ve metropol ulaşımının trafik etkisini azaltma potansiyeline sahip olması sebebiyle giderek daha fazla ilgi duyulmaktadır [2-3].

Günümüzde önemi giderek artan enerji verimliliği çalışmalarına paralel olarak, şehir içi raylı sistemlerde de gerekli teknik ve ekonomik analizlerin yapılması büyük önem arz etmektedir. Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği (International Association of Public Transport, UITP) ve Uluslararası Demiryolları Birliği (International Railways Association, UIC) son zamanlarda bu çalışmalarını gündeme getirmiş ve bir standardizasyon oluşturmayı amaçlamıştır. Bununla birlikte, artan kapasite talepleri ve yükselen enerji maliyetleri bağlamında diğer ulaşım türlerinin çevresel performanslarını önemli ölçüde iyileştirdiği bir ortamda, şehir içi demiryolu, hizmet kalitesini etkilemeksizin enerji kullanımını en aza indirmelidir.

Kentsel raylı sistemlerde enerji verimliliği çalışmaları, frenleme enerjisinin geri kazanılması, enerji depolama sistemleri, enerji tasarruflu sürüş yöntemleri, enerji verimli cer sistemleri, optimum trenler arası süre (Headway Time), hattın işletmesel açıdan yeniden yapılandırılarak optimize edilmesi, hız ayarlaması vb. üzerine yoğunlaşmaktadır.

Regina Lamedica ve arkadaşları tarafından yapılan bir projede, hat ve transformatör kapasitesinden daha yüksek bir başlangıç gücüne sahip trenlerin çalışmasına olanak sunan, batarya tabanlı enerji depolama sistemi ile donatılmış bir yardımcı transformatör merkezi (ABS, Auxiliary Battery Substation) temelli, yenilikçi bir çözüm önerilmektedir. Önerilen bu çözümün, hat üzerindeki tepe akım değerini ve gerilim düşüşlerinin etkisini azaltabileceği görülmüştür. Ayrıca, ABS yapısının demiryolu besleme hattındaki kayıpları azaltmaya ve enerji tasarrufunu arttırmaya olanak tanıdığı belirlenmiştir. Önerilen ABS ile gerçekleştirilen çalışmada, daha dengeli bir hat elde edildiği, ana transformatörden çekilen akımın tepe değerinde %43,2'lik azalma sağlandığı görülmüştür. Ayrıca, hat gerilim düşümünün %5,26 ve kayıpların ise %22,4 oranında azaldığı tespit edilmiştir [4].

Otomatik Sürüş sistemleri günümüzde birçok yeni hatta uygulanmaktadır. Otomatik sürüşün avantajı manuel sürüşteki makinist ve işletme hatalarının en düşük seviyeye indirilmesidir [5]. Modern sistemlerde maksimum hızı artırma ve sonrasında boşta gitme (coasting) moduna geçilmesi ile daha fazla enerji tasarrufu sağlanabileceği belirtilmektedir [5]. Birçok bilim insanı çekiş enerji tüketimini azaltmak için enerji tasarrufu sağlayan tren kontrolü üzerinde çalışmışlardır. Chang, dakiklik, sürüş konforu ve enerji tüketimi gereksinimlerini karşılamak için optimize edilmiş süzülme kontrolü uygulayarak tren operasyonlarını optimize etmek için genetik algoritma kullanmıştır [6]. Howlett, sürekli tren kontrolü problemi için optimal anahtarlama noktalarını bulmak amacıyla Pontryagin ilkesini kullanmıştır. Ayrıca, ayrık kontrol problemindeki her sabit kontrol dizisi için yakıt maliyetini en aza indirmek amacıyla en uygun anahtarlama zamanlarını elde etmiştir [7]. Ke, enerji tüketimini en aza indirmek için kombinatorial bir

optimizasyon modeli önermiş ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla tren hız yörüngesini optimize etmek için karınca kolonisi optimizasyon algoritmalarının MAX-MIN ant sistemini kullanmıştır [8].

Hızlanma profilleri ve maksimum hız limitleri demiryolu hizmetlerinde cer enerji tüketimini belirleyen kritik faktörlerdir. Bu nedenle, emniyet ve zamanlama kısıtlamaları dahilinde, hız optimizasyonu önemli enerji tasarruflarını sağlayabilmektedir. Örneğin, yolculuk uzunluğundaki artışı telafi etmek için ek bir tren gerekli olmasına rağmen, Brüksel metro hattındaki hız sınırlarının (72 km/sa' den 60 km/sa'e ve 60 km/sa'den 50 km/sa'e) yeniden ayarlanması %15 cer enerji tasarrufu ile sonuçlanmıştır. Optimum süzülme noktalarını ve hız profillerini belirlemek için literatürde farklı metodolojiler önerilmiştir [9-10]. Bunlar,

- Optimum enerji tasarrufu için belirlenecek hız profilinin temel özellikleri,
- Yüksek başlangıç ivmesi,
- İstasyonlar arası mesafeyi, yolcu yoğunluğunu, zaman çizelgesini ve hat geometrisini göze alarak en uygun düşük boşa alma hızı,
- Uzun boşa gitme süresi,
- Yüksek frenleme ivmesi,
- Düşük bekleme süresi,

olarak sıralanabilir. Bu konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, işletmede %20-30 arasında enerji tasarrufu sağlanabildiği anlaşılmaktadır [11].

Raylı ulaşım sistemlerindeki aktif güç kayıpları, akımın karesi ile orantılıdır. Bu nedenle, ağdaki farklı trenlerin aynı anda hızlanmasından kaynaklanan yüksek güç değerleri (yüksek akımlar) sınırlanarak, kayıplar önemli ölçüde azaltılabilir. Kayıpları azaltmak için bir başka seçenek ise besleme hatları için düşük dirençli malzemeler kullanmaktır. Nispeten yüksek yatırım maliyetleri gerektirmesine rağmen, üçüncü ray beslemeli güç sistemlerinin, standart çelik iletken raylar yerine %50 daha az dirence sahip alüminyum esaslı raylarla değiştirilerek iletim kayıpları azaltılabilmektedir [12].

Raylı sistemlerde kullanılan aracın hızı, istenilen hıza ulaşmak için ivmelenmesi sebebiyle kütlesi enerji tüketimi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Tren kütlesindeki %10 oranda bir artış, araç enerji tüketiminin %6-8 oranında artmasına sebebiyet vermektedir [13]. Ayrıca, demiryolu aracının kütlesinin azaltılması yola daha az zarar verir, tekerleklerin ve frenin aşınmasını azaltır. Bu nedenle sistemin işletme ve bakım masraflarını düşürür [14].

Hatların paralellenmesi akım bölüşümünü artırarak sistemin rahatlamasını ve enerji kayıplarının azaltmasını sağlamaktadır. Açıkbaş ve Söylemez tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı çalışma senaryoları için elde edilen enerji tasarrufu bilgileri verilmiştir [15]. Gerilim değişiminin enerji tasarrufuna etkileri çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Açıkbaş'ın SimuX programı kullanarak yaptığı çalışmasında 750 V DC ile 1500 V DC besleme sistemlerini çeşitli parametreleri dikkate alarak karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, 1500 V DC sistemin 750 V DC sistem üzerinde birçok avantajı olduğunu belirtmiştir. Açıkbaş'ın İstanbul'un Anadolu yakasında yapılması planlanan Üsküdar-Ümraniye Metro hattına ilişkin veriler ile yapmış olduğu bu çalışmada besleme sisteminin 750 V DC yerine 1500 V DC seçilmesi durumunda elde edilecek tasarrufun %10 mertebelerinde olacağı belirlenmiştir [16].

Raylı ulaşım sistemi istasyonları ve özellikle de metro istasyonları, yolcu hareketliliği ile ticari hizmetleri birleştiren ve yolcu konforunun büyük önem taşıdığı komplike sistemlerdir. Enerji tüketimi HVAC (Heating, Ventilating, Air Conditioning, Cooling; Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme, Soğutma) aydınlatma, yürüyen merdivenler, hareketli yürüyüş yolları ve bilgi reklam ekranlarını içermektedir [17]. Aydınlatmada enerji tasarrufuna yönelik olarak daha verimli lambaların tanıtımıyla önemli enerji tasarrufu sağlanabilir. Bielefeld ve Hon Kong metro istasyonlarında mevcut lambaların floresan ve led lambalarla değiştirilerek sırasıyla, floresan lamba kullanma durumunda %32 ve led kullanma durumunda ise %40'luk bir enerji tasarrufu sağlanmıştır [1]. Ayrıca aydınlık yoğunluğunun otomatik olarak ayarlanması (trenler çalışmadığı saatlerde otomatik olarak kapatılması) da kayda değer enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Sonuç olarak, istasyonlarda enerji tasarrufu, tüm alt sistemlerinin entegreli yönetimi ile en üst düzeye çıkarılabilir. Bu nedenle, HVAC, aydınlatma ve yolcu konveyör sistemlerine adaptif kontrol stratejileri toplu olarak uygulandığında metro istasyonlarının enerji tüketiminde % 5-10'luk bir azalma beklenebilir [18].

Yasin Sarıkavak'ın çalışmasında, Shift2Rail kamu ve özel sektör ortaklarının dahil olduğu geleceğin demiryolu sistemlerinin inşasına odaklanmış bir Avrupa Birliği programından bahsetmiştir. Bu program sayesinde maliyet açısından verimli, güvenilir, yüksek kapasiteli ve yüksek hızlı trenlerin üretilmesi hedeflenmektedir. Bu teknolojilerin uzun vadeli sonuçları olarak, demiryolu sistemlerinde yolcu konforunun iyileştirilmesi dışında, %15 kapasite artışı, işletme güvenliği ve zamanında ulaşım konusunda %50 iyileşme, sistemlerin enerji verimliliği konusunda %30 iyileşme, araç ve hat bakım maliyetlerinde %40 düşüş beklenmektedir [19].

Bu çalışmada, İstanbul metrosundan seçilen örnek bir hat RAILSİM yazılımında modellenmiştir. Bu modelde, ilk olarak katener hatlarının farklı sıklıklarda paralellenmesinin enerji tüketimi üzerine etkisi simüle edilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır. İkinci olarak, farklı yolcu sayısındaki trenler simülasyon programında çalıştırılarak tren ağırlığı değişimlerinin hattın güç tüketimi ve gerilim seviyesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, kişi (yolcu) başına düşen enerji tüketimleri de yorumlanmıştır. Sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi açısından katener hatlarının paralellenmesi ve tren ağırlık değişiminin simülasyon çıktıları üzerinden maliyet analizi çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. Sistem Tanıtımı

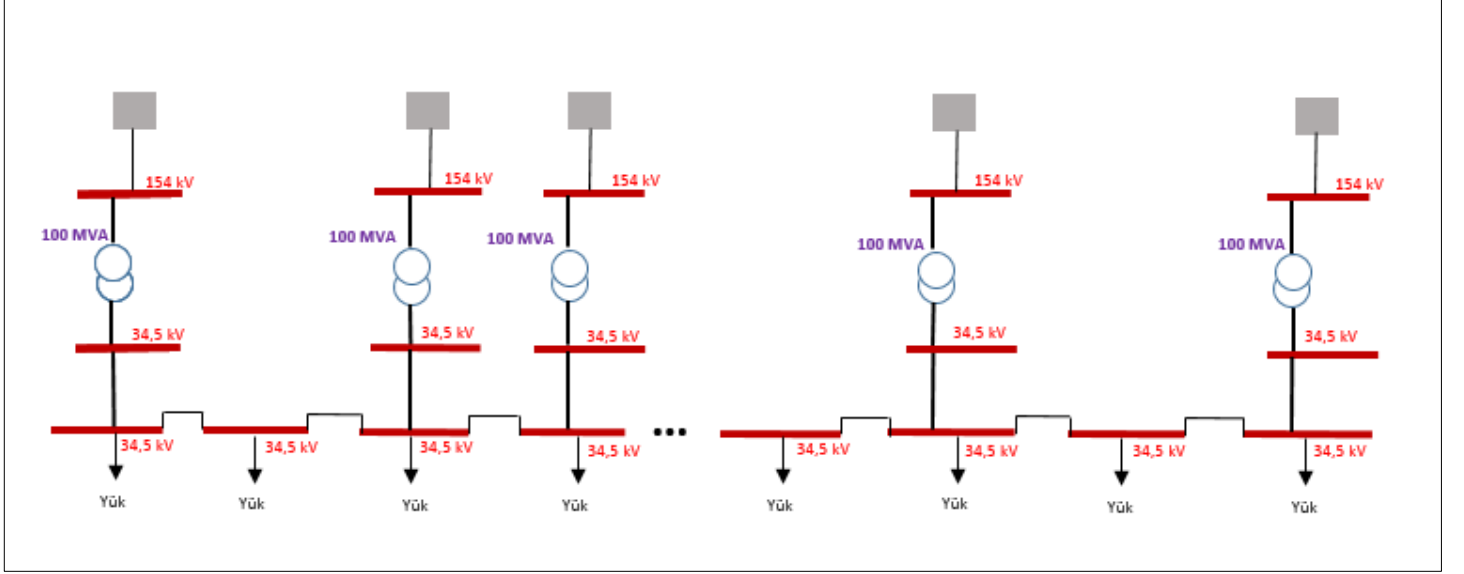
İstanbul metro sisteminden örnek olarak seçilen 26,8 km'lik bir hat RAILSİM programında DC yük akış analizi gerçekleştirilmek üzere modellenmiştir. Bu hat, ray, eğim, viraj ve elektrifikasyon bilgileri açısından gerçek verileri ile modellenmiştir. 750 V DC

gerilim seviyesinde katener hattı üzerinden beslenen hatta 18 istasyon bulunmaktadır. Seçilen hat üzerinde çalışan 92,8 m uzunluğunda 4 vagonlu 1998 model Alstom araçları RAILSİM programında modellenerek gerçeğe yakın analizler yapılmıştır.

2.1. Hat Tanıtımı

Seçilen hattın elektrifikasyon sistemini, 12 adet transformatör merkezi, 5 adet indirici merkez ve transformatör merkezileri arasında bulunan orta gerilim kabloları oluşturmaktadır. İncelenen sistemin basitleştirilmiş tek hat şeması Şekil 2.1’de verilmiştir.

Şekil 2.1. Hattın Basitleştirilmiş Tek Hat Şeması

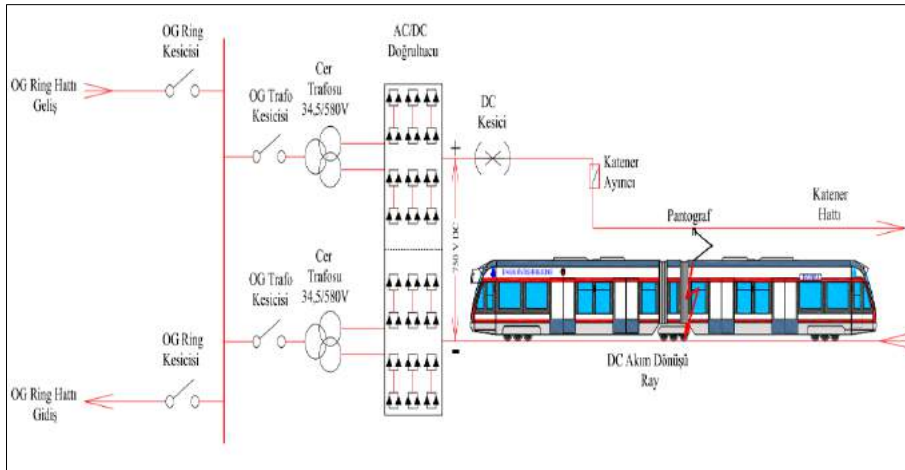


İncelenen hat 26,8 km olup toplam 18 adet istasyon bulunmaktadır. Bunlardan 7 tanesi tünel, 3 tanesi viyadük ve 8 tanesi de yer üstü tipi istasyonlardır. İstasyonlar arası elektrifikasyon bağlantısı $3 \times [3 \times (1 \times 240 \text{ mm}^2)]$ kesitli OG kablolar ile sağlanmaktadır. Çalışmada, geliş ve gidiş katener hatları arasında belirli noktalarda her 2000 m (17 adet), 1000 m (30 adet) ve 250 m’de bir (129 adet) $1 \times 120 \text{ mm}^2$ kesitli OG kablolarıyla paralelleme yapılmış ve sonuçları paylaşılmıştır.

2.2. Elektrifikasyon Sistemi

Metro hattının OG elektrifikasyon sistemini, incelenen hat üzerinde bulunan 12 adet transformatör merkezi, 5 adet indirici merkez ve transformatör merkezleri arasında bulunan orta gerilim kabloları oluşturmaktadır. Ayrıca, elektrifikasyon sistemini oluşturan transformatör merkezlerinin basitleştirilmiş şeması Şekil 2. 2’de gösterilmiştir. Şemadan da görüldüğü gibi OG ring hattı üzerinden gelen enerji, OG kesicisinden geçerek cer transformatörlerine iletilmektedir. Burada, 580 V AC gerilim seviyesine düşürülerek 12 darbeli doğrultucu gurubuna girer, 750 V DC gerilim seviyesinde katener hattı üzerinden araç pantografına iletilir ve ray hattı üzerinden geri dönerek devresini tamamlamış olur.

Şekil 2.2. Raylı Sistem Elektrifikasyon Örneği

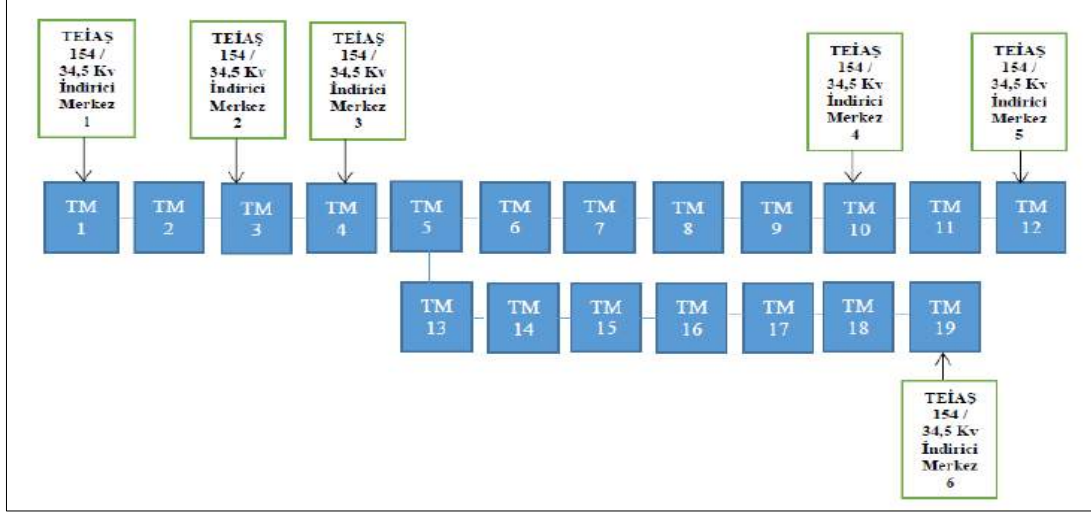


2.3. Transformatör Merkezleri

Simülasyonu yapılan hatta bulunan toplam 18 adet istasyon ve 26,8 km uzunluğundaki katener hattının enerji beslenmesi hat üzerinde çeşitli lokasyonlarda kurulu olan toplam 12 adet transformatör merkezi ile sağlanmaktadır. Transformatör merkezlerinde 34,5 kV AC orta gerilim baralar bulunmakta olup, transformatör merkezleri birbirlerine orta gerilim enerji kabloları üzerinden bağlanarak ring şebeke oluşturmaktadır. Oluşturulan ring şebeke sayesinde herhangi bir TEİAŞ 154 / 34,5 kV giriş beslemesinde meydana gelen bir enerji kesintisinde ring kesici hücreleri ile manevra yapılarak bir başka indirici merkezden enerji beslemesi sağlanmaktadır.

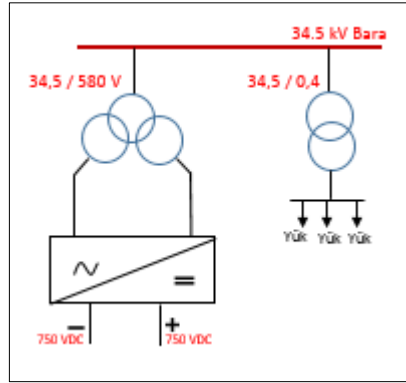
Transformatör merkezleri ve TEİAŞ indirici merkezlerine basit gösterim için kodlar verilmiştir. Sistemin numaralandırılmış şeması Şekil 2.3’de verilmiştir;

Şekil 2.3. Hattın Orta Gerilim Sisteminin Basitleştirilmiş Diyagramı



Şekil 2.4’te görüldüğü gibi çift sekonderli cer transformatörleri 34,5 kV gerilimi 580 V AC gerilim dönüştürerek doğrultucu merkezine iletilir. Buradan 750 V DC gerilime dönüştürülerek katener hattına verilir. İç ihtiyaç transformatörleri ise istasyonda bulunan tüm (cer dışında) yükleri beslemektedir.

Şekil 2.4. Örnek Bir Transformatör Merkezi Açık Şeması



3. Modelleme ve Analiz Çalışmaları

Modelleme ve analiz çalışmalarında İstanbul raylı ulaşım sisteminden örnek olarak alınan bir hat kullanılmıştır. Seçilen bu hat üzerinde RAILSIM programı ile DC yük akış analizi gerçekleştirilmiştir. Ray, eğim, viraj ve elektrifikasyon bilgileri açısından gerçek veriler ile modellenmiştir.

Seçilen metro hattında tek bir tren hareketine ait veriler DC Simülasyon programı RAILSIM vasıtası ile irdelenmiştir. Simülasyon çalışmasında 4 vagonlu İstanbul Ulaşım 1988 ABB Hafif Metro aracı olarak tek bir tren, seçilen güzergah ve doğrultu boyunca çalıştırılarak yük akışı analizi yapılmıştır. Tren performans bilgileri farklı çalışma koşullarında elde edilmiş ve enerji verimliliğine olan etkileri gösterilmiştir. Simülasyon ortamında tren aracı, Şekil 2.3’te verilen sistemde görülen TM1-TM12 transformatör merkezleri arasındaki güzergahta bulunan 18 istasyon arasında hareket ettirilmiştir. Hattın yapısına göre TM13 transformatör merkezinin bulunduğu istasyonda yol ayrımı bulunmakta olup, farklı bir hat olarak çalışmaktadır. TM13-TM19 transformatör merkezleri hattın bu bölümünü beslemekle beraber, analizi gerçekleştirilen TM1-TM12 arası güzergahın enerjilendirilmesine de az da olsa katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, simülasyon çalışmalarında TM13-TM19 transformatör merkezlerinin katkıları da dikkate alınarak modele yansıtılmıştır.

Senaryolardan birincisi, katener hatlarının farklı sıklıklarda paralellenmesinin enerji tüketimi üzerine etkisinin incelenmesidir. İkinci senaryo ise, tren ağırlık değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi ve yolcu başına düşen enerji maliyetinin irdelenmesi olmuştur. Son olarak her iki senaryoya ait maliyet analizleri yapılarak elde edilen bulgular sunulmuştur.

3.1. Senaryo 1: Katener Hatlarının Paralellenmesi (Jumper-Atlama Kabloları)

DC gerilim ile beslenen çift hatlı sistemlerde her iki hatta ait katener sistemleri yalıtılmış kablolar ile paralellenebilmektedir. Görseelliğinin yanı sıra paralelleme aynı zamanda enerji tasarrufu ve gerilim dengelemesi de sağlamaktadır. Hatların paralelleme, akım bölüşümünü artırarak sistemin yüklenmesini hafifletmesi ve enerji kayıplarını azaltması gibi avantajlara sahiptir.

Bu çalışmada, 4 vagonlu Alstom aracı boş olarak, modellenen hat üzerinde, katener hatları arasında herhangi bir paralelleme yapılmaması, hattın mevcut durumu (13 adet jumper), her 2000 metrede, 1000 metrede ve 250 metrede bir jumper (atlama kabloları) ile katener hatlarının birbirine bağlanması durumlarında modelleme ve analizler yapılarak sistemden çekilen güç ve akım değerleri karşılaştırılmıştır.

3.1.1. Güç Tüketim Üzerindeki Etkiler

RAILSIM yazılımında oluşturulan modelde, trenin hareketi boyunca her 2 sn'de bir alınan güç çıkış değerleri ile RMS (Root Mean Square) güç hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucu Tablo 3. 1'de görüldüğü gibi katener hatları arasında jumperlama sıklığı arttıkça tren tarafından çekilen toplam gücün azaldığı görülmektedir.

Tablo 3. 1 Tüm TM'lerin RMS Güç Değerleri Sonuçları

Tüm Trafo Merkezleri RMS Güç Değeri Toplamı (kW)	Jumper Yok	Mevcut Durum	2000 m	1000 m	250 m
	789,28	776,6	776,19	754,39	734,46

Modellenen hat boyunca katener hatları arasında paralelleme olmadığı durumda çekilen güç değeri 789,28 kW iken, her 250 metrede bir paralelleme olduğu durumda bu değer yaklaşık %6,95'lik bir azalma ile 734,46 kW'a düşmüştür.

3.1.2. Çekilen Akım Üzerindeki Etkiler

RAILSIM yazılımında gerçekleştirilen simülasyonlar sonucu tüm transformatör merkezlerinden çekilen akımların RMS değeri ve maksimum akımların ortalaması Tablo 3.2'de paylaşılmıştır.

Tablo 3. 2 Tüm TM'lerin RMS Akım Değerleri Sonuçları

Seçilen Hattın Jumper Durumu	Jumper Yok	2000 m	1000 m	250 m
Tüm Trafo Merkezleri RMS Akım Değeri (A)	103,73	103,93	100,94	98,04
Tüm Trafo Merkezleri Ortalama Maks. Akım Değeri (A)	592,34	580,07	547,42	518,19

Elde edilen sonuçlara göre çekilen maksimum akımların ortalama değeri hatlar arasında paralelleme olmadığı durumda 592,34 A iken her 250 metrede bir paralelleme yapıldığında %12,52'lik bir azalma ile 518,19 A'e düşmüştür. Çekilen maksimum akımın, katener hatları arasında atlama kabloları kullanarak sınırlanabileceği görülmüştür. Efektif akım (RMS) değerinin ise 103,73 A den %5,48'lik bir azalma ile 98,04 A değerine düştüğü belirlenmiştir.

3.1.3. Parallellenmenin Hat Gerilimi (Trenin Pantografinin Ucundan Okunan Gerilim) Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Parallelleme kablolarının sıklığının artırılması hattın toplam empedansını (direncini) düşürdüğü için hattaki gerilim düşümünü de azaltmaktadır. Bu sebepten dolayı transformatör noktaları arasındaki mesafeyi artırarak daha az sayıda transformatör merkezi kurarak işletmenin sağlanması mümkün olmaktadır.

Tablo 3. 3 Tren Pantografinin Ucundan Okunan Minimum Gerilim Değerleri

Hattaki Minimum Gerilim (V)				
Jumper Yok	Mevcut Durum	2000 m	1000 m	250 m
696,41	709,96	701,62	759,26	774,34

Tablo 3. 3'te modellenen hat boyunca trenin pantografinin katener hattı ile temas ettiği noktadan okunan en düşük gerilim seviyeleri görülmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre hatların paralellenmesi gerilim düşümünü azaltmaktadır. 250 metrede bir paralelme yapılması durumunda gerilim düşümü, hatların hiç paralellenmemesi durumuna kıyasla % 10,06 oranında azalmıştır.

3.2. Senaryo 2: Trenin Toplam Kütle Artışının Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi

Hafif olan araçlar ağır olanlara göre, ilerlemeye karşı daha düşük mekanik direnç gösterir ve aynı performans seviyesine ulaşmak için daha az kinetik enerji gerektirir. Bu nedenle, raylı taşıtın toplam kütesinin en aza indirilmesi, cer enerji tüketimini azaltmaktadır.

Araç ağırlığının enerji tüketimine etkisini göstermek amacıyla, aynı tren aracı kullanılarak incelenen hattın istasyonları arasında,

- Boş,
- 300 yolcu,
- 600 yolcu,
- 900 yolcu,
- 1200 yolcu,

bulunması durumları için simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3. 4'te verilmiştir. Simülasyonlarda ortalama yolcu ağırlığı 75 kg olarak alınmıştır. İstasyonlarda beklemeli (20 s) ve beklemez olmak üzere iki farklı çalışmaya göre sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3. 4 Tren Kütle Artışının Enerji Tüketimine Etkisi

Çalışma Durumu	Boş		300 Kişi		600 Kişi		900 Kişi		1200 Kişi	
	Beklemeli 20 sn	Beklemez	Beklemeli 20 sn	Beklemez	Beklemeli 20 sn	Beklemez	Beklemeli 20 sn	Beklemez	Beklemeli 20 sn	Beklemez
Tren Ağırlığı (Kg)	119747,76		142247,82		164747,88		187247,76		209748	
Toplam Süre	00:28:46	00:23:26	00:29:12	00:23:52	00:29:46	00:24:26	00:30:13	00:24:53	00:30:40	00:25:20
Ortalama Hız (km/sa)	41,04	50,38	40,43	49,47	39,66	48,32	39,07	47,45	38,49	46,6
Maks. Hız (km/sa)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Tepe Güç (kW)	2004,59	2004,59	2160,66	2160,66	2295,06	2295,06	2402,35	2402,35	2427,8	2427,8
Harcanan Enerji (kWh)	318,25974	303,9664	347,79778	333,50444	375,00335	360,71002	400,24946	385,95613	422,48408	408,19075
Ortalama Güç (kW)	663,80942	778,29245	714,16381	837,95085	755,88582	885,78181	794,75899	930,63769	826,59946	966,77265

Tablo 3. 4'ten de görüldüğü üzere tren toplam kütle artışının birçok durumu etkilediği gözlemlenmiştir. Aracın boş ağırlığı simülasyon programından 119.747,76 Kg olarak alınmıştır.

Boşta çalışma ve 1200 kişilik tam dolu yolcu ile çalışma kıyaslandığında, tren toplam kütlesi yaklaşık %75 artarken; enerji tüketimindeki artış beklemeli (with dwell) çalışma durumunda %32,74 iken, beklemez çalışma durumunda %34,28 olmuştur. Trenin yüksüz çalıştığı durum ile tam yüklü olduğu durum arasında çekilen tepe güç değerleri karşılaştırılacak olursa, yüksüz çalıştığı durumda çekilen tepe güç değeri 2004,59 kW iken 1200 adet yolcu ile hareket ettiği durumda 2427,8 kW olarak elde edilmiştir. Buradan, tren kütesindeki %75'lik artışın çekilen tepe gücü %21,11 oranında arttırdığı görülmüştür.

Enerji tüketimlerini daha iyi yorumlayabilmek için kWh / kişi başına düşen tüketim değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3. 5 kWh / kişi Başına Enerji Tüketim Değerleri

Çalışma Durumu	Enerji Tüketimleri (kWh/Kişi)	
	Beklemeli 20 sn	Beklemez
300 Yolculuk	1,159	1,111
600 Yolculuk	0,625	0,601

900 Yolculuk	0,444	0,428
1200 Yolculuk	0,352	0,34

Doğal olarak trenlerin ağırlığı doluluk oranına bağlıdır. Tren içindeki seyahat eden yolcu sayısı arttıkça trenin ağırlığı ve dolayısıyla enerji tüketim miktarı artacaktır. Kişi başına düşen enerji tüketiminin etkisini araştırmak için tren farklı sayılarda yolcu ile doluyken ki durumların analizi yapılmıştır. Tablo 3.5 incelendiğinde trendeki yolcu sayısı arttıkça kişi başına düşen enerji tüketim değerinin azaldığı görülmektedir. Wh / kişi*km olarak enerji tüketim değerleri ise Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3. 6 Wh / kişi*km Başına Enerji Tüketim Değerleri

Çalışma Durumu	Enerji Tüketimleri (Wh/Kişi*km)	
	Beklemeli 20 sn	Beklemesiz
300 Yolculuk	58,92	56,5
600 Yolculuk	31,76	30,55
900 Yolculuk	22,6	21,79
1200 Yolculuk	17,89	17,28

Tablo 3.6’dan, bir km de kişi başına düşen enerji tüketimi, 300 yolculu hareket durumunda 56,5 Wh iken, 1200 yolculu durumda 17,28 Wh’e düştüğü görülmektedir.

4. Maliyet Analizi

Bu bölümde, incelenen hatta gerçekleştirilen senaryoların enerji tüketimine etkileri dikkate alınarak maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ihtiyaç duyulan yatırım maliyetleri de dikkate alınarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4.1 Katener Hatlarının Parallellenmesi İçin Maliyet Analizi

Katener hatları arasında atlama kabloları ile paralelleme yapılması durumunun maliyet açısından analizi gerçekleştirilmiştir. Hattın mevcut durumunda, bazı noktalarında paralelleme kabloları vardır. Bu kablolar, 1 kV gerilim seviyesinde çift izoleli 1x120 mm² kesitli bakır kablolardır. İncelenen farklı senaryolar için de bu tip kabloların kullanıldığı kabul edilmiştir. Tablo 4.1’de Ocak 2019 HES kablo kataloğundan alınan kablo birim fiyat değeri verilmiştir [20].

Tablo 4. 1 1x120 mm² Bakır Kablo Fiyatı

Kablo Kesiti	Birim Fiyatı (₺/m)
1x120 mm ² Çift izoleli Bakır KABLO	138,000

Bir paralelleme kablosunun uzunluğu ortalama 8 m’dir. Kullanılan adet bilgileri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4. 2 Parallelleme Kablosu Adetleri

Kullanılan Jumper Adetleri	
Jumper Yok	0 adet
Mevcut Durum	13 adet
2000 m	17 adet
1000 m	35 adet
250 m	129 adet

Parallelleme kablolarının kurulum maliyeti, bir adetinin ortalama uzunluğu 8 metre kabul edilerek Tablo 4.1’de verilen birim fiyat üzerinden hesaplanmış ve Tablo 4.3’te sunulmuştur.

Tablo 4. 3 Parallelleme Kablosu Kurulum Maliyeti

Parallelleme Kablosu Kurulum Maliyetleri (₺)	
Jumper Yok	0 ₺
Mevcut Durum	14.352,00 ₺
2000 m	18.768,00 ₺
1000 m	38.640,00 ₺
250 m	142.416,00 ₺

Maliyet analizi gerçekleştirirken aşağıdaki koşullar dikkate alınmıştır.

- Araçlar günde 18 saat çalışmaktadır.
- Enerji maliyeti yaklaşık 0,54₺ / kWh üzerinden hesaplanmaktadır.
- Bir yıl 365 gün olarak alınmıştır.

Paralleleme yapılmadığı durum ile 2000 m’de bir yapıldığı durum analizi: Tablo 3.1’den paralelleme yapılmadığı durumda çekilen toplam güç 789,28 kW, 2000 m’de bir yapıldığı durumda ise 776,19 kW olarak verilmiştir. 2000 m’de bir paralelleme kablosu çekildiği durumda, hiç olmaması durumuna göre 13,09 kW’lık bir kazanç elde edileceği görülmektedir. Bu durumda günlük enerji kazancı ise $13,09 \times 18 = 235,62$ kWh olmaktadır. Maddi açıdan sağlanan günlük kazanç değeri ise $235,62 \times 0,54 = 127,234$ ₺ olarak hesaplanmıştır. Kablo maliyetinin karşılama süresi ise yaklaşık 148 gündür. Bir yılın sonunda sağlanan toplam kazanç 46.440,41 ₺ olarak hesaplanmıştır. Kurulum maliyeti çıkarıldığında 27.672,41 ₺ net kar olacağı görülmektedir.

Paralleleme yapılmadığı durum ile 1000 m’de bir yapıldığı durum analizi: Tablo 3.1’de paralelleme yapılmadığı durumda çekilen toplam güç 789,28 kW, 1000 m’de bir yapıldığı durumda ise 754,39 kW olarak verilmiştir. Bu durumda 34,89 kW’lık bir kazanç ile günlük enerji tasarrufu $34,89 \times 18 = 628,02$ kWh olmaktadır. Maddi açıdan sağlanan günlük kazanç değeri ise $628,02 \times 0,54 = 339,130$ ₺ olarak hesaplanmıştır. Buna göre kablo maliyetinin karşılama süresi yaklaşık 114 gündür. Katener hatları arasında 1000 m’de bir paralelleme yapılması durumunda, yılın sonunda sağlanan toplam kazanç 123.782,45 ₺ olarak hesaplanmıştır. Bu kazançtan kurulum maliyeti çıkarıldığında bir yılın sonunda 85.142,45 ₺ net kar elde edileceği görülmektedir.

Paralleleme yapılmadığı durum ile 250 m’de bir yapıldığı durum analizi: Tablo 3.1’de paralelleme yapılmadığı durumda çekilen toplam güç 789,28 kW, 250 m’de bir yapıldığı durumda ise 734,46 kW olarak verilmiştir. Benzer hesaplama yöntemi ile maddi olarak günlük kazanç 532,850 ₺, kablo maliyetinin karşılama süresi yaklaşık 267 gün, yılın sonunda sağlanan toplam kazanç 194.490,25 ₺ ve bu kazançtan kurulum maliyeti çıkarıldığında bir yılın sonunda 52.074,25 ₺ net kazanç elde edileceği görülmektedir.

Hangi sıklıkta paralelleme kablosunun daha avantajlı olduğunun iyi anlaşılabilmesi açısından ilk 3 yıllık kazanç Tablo 4.4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. 4 Katener Hatlarının Parallellenmesinin Maliyet Analizi

Paralleleme Kazanç Tablosu									
	2000 m			1000 m			250 m		
	1. yıl	2. yıl	3. yıl	1. yıl	2. yıl	3. yıl	1. yıl	2. yıl	3. yıl
Kurulum Maliyeti (₺)	18.768,00	0	0	38.640,00	0	0	142.416,00	0	0
Kazanç (₺)	46.440,41	46.440,41	46.440,41	123.782,45	123.782,45	123.782,45	194.490,25	194.490,25	194.490,25
Net Kazanç (₺)	27.672,41	46.440,41	46.440,41	85.142,45	123.782,45	123.782,45	52.074,25	194.490,25	194.490,25
Toplam Kazanç (₺)	120.553,23			332.707,35			441.054,75		

4.2 Ağırlık Değişimi İçin Maliyet Analizi

Tren toplam kütle değişiminin enerji tüketimine etkisinin gösterilmesi amacıyla bir maliyet analiz çalışması yapılmıştır. Enerji birim maliyeti 0,54₺ / kWh olarak alınmıştır. Tablo 4.5 incelendiğinde tren toplam kütlesi yaklaşık %75 artarken, maliyetteki artışın %32,74 olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 5 Tren Ağırlık Değişiminin Enerji Tüketimine Etkisi

Tren Ağırlık Değişiminin Enerji Tüketimine Etkisi					
Yolcu Sayısı	Boş	300	600	900	1200
Tren Ağırlığı (Kg)	119747,76	142247,82	164747,88	187247,76	209748,01
Harcanan Enerji (kWh)	318,25974	347,79778	375,00335	400,24946	422,48408
Maliyet (₺)	171,86	187,81	202,501	216,134	228,141

Birim maliyet analizi için kişi başına düşen enerji tüketimlerinin sonuçları Tablo 3.5’te paylaşılmıştır. Maliyet kısmında enerji tüketimi 0,54₺ / kWh, gelir kısmında ise bir kişinin raylı topluma taşıma kullanım ücreti 1,5₺ olarak alınmış ve hesaplamalar bu değerlere göre yapılmıştır.

Tablo 4. 6 Kişi Başına Düşen Enerji Tüketimi Açısından Maliyet Analizi

Kişi Başına Düşen Enerji Tüketimi Açısından Maliyet Analizi				
Yolcu Sayısı	300	600	900	1200
Enerji Tüketimleri (kWh/kişi)	1,159	0,625	0,444	0,352
Maliyet (₺/kişi)	0,6258	0,3375	0,2397	0,1901

Gelir (₺/kişi)	1,5	1,5	1,5	1,5
Net Gelir (₺/kişi)	0,8742	1,1625	1,2603	1,3099

Tablo 4.6’da paylaşılan sonuçlara göre; trende 300 kişi seyahat ederken kişi başına tüketilen enerji 1,159 kWh ve kişi başı net gelir 0,8742₺ iken 1200 kişi taşınması durumunda 0,352 kWh tüketim ile 1,3099₺ net gelir elde edildiği sonucuna varılmaktadır. Bu da 300 kişiye kıyasla 1200 kişilik yolcuğunun maliyet açısından yaklaşık %49,84 daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, İstanbul şehiriçi raylı taşıma sisteminden seçilen örnek bir hat, RAILSIM DC simülasyon yazılımında modellenerek enerji verimliliğini artırma üzerine analizler gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi, katener hatları arasında paralelleme yapılmasının enerji tüketimi üzerinde etkisinin incelenmesidir. İkincisi ise tren toplam kütle artışının enerji tüketimine etkilerinin incelenmesi olmuştur. Simülasyon çalışmalarının ardından her iki durum için de maliyet analiz çalışmaları yapılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Katener hatlarının paralellenmesi durumu için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda, modellenen hatta katener hatları arasında paralelleme olmadığı durumda çekilen güç değeri 789,28 kW iken her 250 metrede bir paralelleme olduğu durumda bu değer %6,94’lük bir azalma ile 734,46 kW’a düştüğü gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, hatların paralellenmesi gerilim düşümünü de azaltmaktadır. Her 250 metrede bir paralelleme yapılması durumunda gerilim düşümü hatların hiç paralellenmemesi durumuna kıyasla %10,06 oranında azalmıştır. Maliyet açısından da, incelenen senaryolar dikkate alındığında katener hatlarının 250 m’de bir sıklıkta paralellenmesinin en avantajlı senaryo olduğu anlaşılmaktadır.

Ağırlık artışının enerji tüketimi üzerine etkisini incelemek için yolcusuz çalışma ile farklı sayıda yolcu kapasitesine sahipken çalışma durumları kıyaslanmıştır. 1200 kişilik yolculu durumunda trenin toplam kütlesi yaklaşık %75 artarken, enerji tüketimindeki artış beklemeli çalışma durumunda %32,74 iken, beklemesiz çalışma durumunda ise %34,28 olmuştur. Yolcu sayısı arttıkça kişi başına düşen enerji tüketimi azalmaktadır. Enerji tüketiminin 300 yolculu durumunda 1,111 kWh / kişi iken 1200 yolculu durumunda 0,34 kWh / kişi’ye düştüğü görülmektedir. Kişi*km başına düşen enerji tüketimi ise 300 yolculu durumunda 56,5 Wh iken 1200 yolculu durumunda 17,28 Wh olmaktadır.

Katener hatlarının paralellenmesi ekonomik açıdan da avantaj sunmaktadır. Hatlar arasında hiçbir paralelleme yapılmaması durumuna kıyasla her 250m’de bir paralellenmesi durumunda yıllık 194.490,25₺ tasarruf elde edileceği hesaplanmıştır. Kurulum maliyeti çıkarıldığında ise 3 yılın sonunda 441.054,75₺ net kar elde edileceği görülmektedir. Ağırlık değişimi ile ilgili maliyet analizi incelendiğinde, trenler 300 yolcuya kıyasla 1200 yolcu ile hareket ettiklerinde kişi başına düşen enerji tüketim miktarının azaldığı ve trenlerin yaklaşık %49,84 daha avantajlı hareket ettiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, gerek tasarım gerekse işletim esnasında yapılacak değişimler ile raylı sistemlerde enerji verimliliğinin artırılabilirliği ve önemli maddi kazanımlar sağlanabileceği ortaya konulmuştur. İşletmede olan ve yeni kurulacak olan hatlar için de benzer analizlerin yapılmasının gerek enerji verimliliği gerekse ekonomi açısından faydalı olacağı görülmüştür. İleriki çalışmalarda, diğer enerji verimliliği yöntemlerinin etkilerinin de analiz edilmesi planlanmaktadır.

Kaynakça

- [1] Gonzalez-Gil, A., Palacin, R., Batty, P. ve Powell, J.P. (2014). “A system approach to reduce urban rail energy consumption”, *Energy Conversion and Management*, 80: 509-524.
- [2] Official Journal of the European Union, Decision No 406/2009/EC on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community’s greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020;2009. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0136:0148:EN:PDF>>.
- [3] European Commission, A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 – Ref. COM(2011) 112 final; 2011. <<http://www.eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:EN:PDF>>.
- [4] Lamedica, R., Ruvio, A., Galdi, V., Graber, G., Sforza, P., GuidiBuffarini, G. ve Spalvieri C., (2015). “Application of battery auxiliary substations in 3kV railway systems”, *AEIT International Annual Conference*, 14-16 Oct. 2015, Naples, 1-6.
- [5] Açıkbaş, S., (2008). Çok Hatlı Çok Araçlı Raylı Sistemlerde Enerji Tasarrufuna Yönelik Sürüş Kontrolü, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Chang, C.S. and Sim, S.S., (1997). "Optimising train movement through coast control using genetic algorithm", *IEE Proc.-Electr. Power Applications*, 144: 65-73.
- [7] Howlett, P.G., (2000). “The Optimal control of a train”, *Annals of Operations Research*, 98: 65-87.
- [8] Ke, R., Chen, M.C. ve Lin, C.L., (2009). "Block-Layout Design Using MAX-MIN Ant System for Saving Energy on Mass Rapid Transit Systems", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 10: 226-235.
- [9] Miyatake, M. ve Ko, H., (2009). "Optimization of Train Speed Profile for Minimum Energy Consumption", *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 5: 263-269.
- [10]Bocharnikov, Y.V., Tobias, A.M., Roberts, C., Hilmansen, S. ve Goodman, C.J., (2007). "Optimal Driving Strategies for traction energy saving on DC Suburban railways", *IET Electr Power Applications*, 1: 675-682.
- [11]Albert, H., Levin, C., Vietrosa, E. ve Witte, G., (1995). “Reducing energy consumption in underground systems”, September.
- [12]Hartland, D., (2012). "Heating the countryside or saving the kilowatt hours", *IMEchE Railway division seminar gaining traction in energy efficiency*, 2012, London.

- [13]Andrade Jr, R., Ferreira, A.C., Sotelo, G.G., Suemitsu, W.I., Rolima, L.G.B., Silva Neto, J.L., Neves, M.A., Dos Santos, V.A., Da Costa, G.C., Rosario, M., Stephan, R. ve Nicolskya, R., (2004). "A superconducting high-speed flywheel energy storage system", *Physica C Superconductivity*, 408–410: 930–931.
- [14]Eickhoff B. ve Nowell R., (2011). "Determining the benefit of train mass reduction", *A More and More Energy Efficient Railway*, 24 May 2011, London.
- [15]Açıkbaş, S. ve Söylemez, M.T., Catenary System Paralelling and Its Effect on Power Consumption and Regenerated Energy Recuperation, http://www.emo.org.tr/ekler/2d081df1f0040ac_ek.pdf, 15 Mart 2018.
- [16]Açıkbaş, M. Ve Söylemez, M.T., (2004), Energy Loss Comparison Between 750 VDC and 1500 VDC Power Supply Systems Using Rail Power Simulation, <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/74/12124>, 2 Ocak 2018.
- [17]Zhang, W. ve Wei, J., (2012). "The experimental research on Beijing subway air-conditioning system energy-saving", *Applied Mechanics and Materials*, 170: 2494–2498.
- [18]Fuertes, A., Casals, M., Gangoells, M. ve Puigdollers, O., (2012). "Overcoming challenges for energy management in underground railway stations", *European conference on product and process modelling*, 6 July 2012, Reykjavik.
- [19]Sarıkavak, Y. (2018). Demiryolu endüstrisinde akıllı ulaşırma sistemleri ve Türkiye'deki uygulama örnekleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1 (2), 22-32. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/jitsa/issue/39569/455153>.
- [20]http://www.hes.com.tr/images/user_uploaded_files/FiyatListesi.pdf



Bir Konutun Dış Duvarları İçin Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti ve Enerji Tasarrufu Analizi

Aynur Uçar^{1*}, Muhammed Usame Dumrul¹

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5973-3741)

(İlk Geliş Tarihi 3 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.586176)

ATIF/REFERENCE: Uçar, A. & Dumrul, M. U. (2019). Bir Konutun Dış Duvarları İçin Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti ve Enerji Tasarrufu Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 740-749.

Öz

Artan nüfus, gelişen teknoloji enerjiye olan talebi sürekli olarak artırmaktadır. Bu durum Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeleri zorunlu enerji tasarrufuna yöneltmiştir. Yapılarda enerji tasarrufu için kullanılan en etkin yöntemlerden biri ısı yalıtımıdır. Bu çalışmada iki farklı duvar modeli (dıştan yalıtımlı duvar ve sandviç duvar), üç farklı yakıt çeşidi (doğalgaz, kömür ve elektrik) ve iki farklı yalıtım malzemesi sıkıştırılmış polistiren (XPS) ve genişletilmiş polistiren (EPS) kullanılarak yalnız ısıtma, yalnız soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma durumunda Malatya ili için optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyet, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan, hem ısıtma ve hem de soğutma durumu için optimum yalıtım kalınlıkları 0.0549 m ile 0.0836 m arasında, enerji tasarrufları 24.79 TL/m² ile 60.45 TL/m² arasında ve geri ödeme sürelerinin ise 2.5714 ve 4.2062 yıl arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Optimum yalıtım kalınlığı, Enerji tasarrufu, Isıtma ve soğutma maliyeti.

Determination of optimum insulation thickness and energy saving analysis according to heating and cooling loads for exterior walls of a house in Malatya

Abstract

Growing population and developing technology continuously increases the demand for energy. One of the most effective methods for energy saving in buildings is thermal insulation. In this study, the optimum insulation thickness, total cost, energy saving and reimbursement period for Malatya city were calculated for two different wall structures (externally insulated walls and sandwich walls), three different types of fuel (natural gas, coal and electricity) and two different insulation materials (extruded polystyrene (XPS), expanded polystyrene (EPS)) for only heating, only cooling and both heating and cooling conditions. According to the results, the optimum insulation thicknesses is between 0.0549 m and 0.0836 m, the energy savings is between 24.79 TL/m² and 60.45 TL/m² and payback period is between 2.5714 and 4.2062 years for both heating and cooling conditions.

Keywords: Optimum insulation thickness, Heating and cooling cost, Energy savings.

* Sorumlu Yazar: Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü, Elazığ, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5973-3741, aucar@firat.edu.tr

1. Giriş

Ülkelerin en önemli sorunlarından biri enerjinin tüketilmesidir. Enerji tüketiminin başlıca sorunu çevre kirliliğidir. Sanayi ve bina sektörü, en fazla enerji tüketimine sahip olan sektörlerdir. Binalardaki enerji tüketimini azaltmak için kış aylarında ısı kayıplarını, yaz aylarında da ısı kazançlarını azaltmak gerekmektedir. Bunun için en etkin yol bina elemanlarının yalıtılmasıdır. Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin olmasına karşılık, enerji ihtiyacının önemli bir kısmını dışarıdan ithal etmektedir (Ogulata 2002, Kaygusuz 2004). Binalara uygulanan ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça, ısı kazanç ve kayıplarını düşecek, ancak yalıtım maliyeti artacaktır. Bu nedenle yalıtım kalınlığı seçilirken en uygun yalıtım kalınlığı belirlenmelidir. Optimum yalıtım kalınlığı, maliyet analizi yapılarak belirlenmelidir. Çomaklı ve Yüksel (2003) Türkiye'deki soğuk iklim bölgesinden seçilen üç şehir (Erzurum, Kars ve Erzincan) için yalıtım optimum kalınlığını, derece gün metodu kullanarak bulmuşlardır. Bolattürk (2003) binanın duvar ve çatısında kullanılan yalıtım malzemesinin optimum kalınlıklarını ve enerji tasarruflarını Derece-Gün metodu kullanarak, Isparta ili için tespit etmişlerdir. Kürekçi (2016), Türkiye'nin 81 ili için optimum yalıtım kalınlığını dört farklı yakıt türü (doğal gaz, kömür, akaryakıt ve sıvılaştırılmış petrol gazı) ve 5 farklı yalıtım malzemesi (ekstrüde polistiren, genleşmiş polistiren, cam yünü, taş yünü ve poliüretan) incelemiştir. Nematshoua vd. (2017), Kamerun'da iki farklı iklim bölgesinden seçtiği iki şehir için optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu ve geri ödeme süresini bulmuşlardır. Bunun için, yalıtım malzemesinin maliyeti ve enerji tüketiminin bugünkü değeri ve binanın 22 yıllık kullanım ömrü boyunca toplam maliyetini içeren ekonomik bir model kullanmışlardır. Çalışmalarında, yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren ve iki farklı duvar yapısını (beton blok ve sıkıştırılmış stabilize toprak blok duvar) seçmişlerdir. Evin ve Uçar (2019), bir binanın dış duvar, kolon, taban ve çatısına uygulanan yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı, Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden seçilen 4 il ve 4 farklı yalıtım malzemesi için hesaplamışlardır. Hesapladıkları bu yalıtım kalınlığı için ısıtma ve soğutma yükü ve maliyetlerini bulmuşlardır.

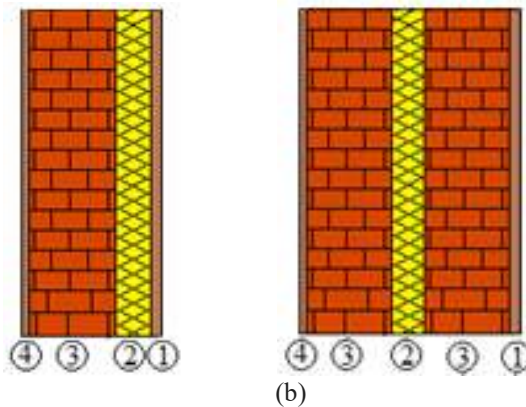
Aktemur (2017) Türkiye'nin dört farklı iklim bölgelerinden seçilen dört şehir için optimum yalıtım kalınlığı, 15 yıl boyunca enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri altı farklı yakıt (motorin, doğal gaz, LPG, elektrik, kömür ve akaryakıt) ve yalıtım malzemeleri (ekstrüde polistiren, genleşmiş polistiren, cam yünü, taş yünü, polyizosiyanurat ve poliüretan için hesaplamışlardır. Kaynaklı (2008), yoğunlaşmayı dikkate alarak farklı yalıtım uygulamaları için, binaların dış duvarlarında kullanılan ısı yalıtım malzemesinin optimum kalınlığını bulmuşlardır. Dombaycı vd. (2017) Türkiye'de dört farklı iklim bölgesinde seçilen iller için bina dış duvarının optimum yalıtım kalınlığını, yaşam döngüsü maliyet analizi olarak da adlandırılan enflasyon ve faiz oranının etkisinin dikkate alındığı termoeconomik yöntemi kullanarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada yalıtım malzemesi olarak, polistiren ve poliüretan kullanılmıştır. Canbolat ve arkadaşları (2018), bina duvarları için ısı yalıtım kalınlıklarını soğutma ve ısıtma enerjisi ihtiyaçlarına göre hesaplamışlardır. Bu amaçla, ömür maliyet analizini (life cycle cost) kullanmışlardır. İstanbul için optimum yalıtım kalınlığını 4.7 cm olarak bulmuşlardır. Işık ve Tuğan (2017) Tunceli, Hakkâri ve Kars illeri için derece-gün yöntemi kullanılarak dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı araştırmışlardır. Optimum yalıtım kalınlığı Tunceli için 7.9 cm, Hakkâri için 8.2 cm ve Kars için 10.4 cm olarak bulmuşlardır. Özel (2018), Kars ilindeki bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığını meteorolojik verileri kullanılarak ısıtma yükleri derece-gün olarak güneş ışınımı değerleri dikkate alınarak ve alınmadan hesaplanmıştır. Demir (2018), soğutma sistemleri için belirli bir yalıtım malzemesi hacmi veya iç hacim için ısı yalıtım malzemesinin optimum dağılımının genel bir çözümü önermiş ve ayrıca bir örnek çalışma ile açıklamıştır.

Bu çalışmada, iki farklı yalıtım malzemesi ve iki farklı yakıt türü için Malatya ili için yalıtım malzemesinin optimum kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri sadece ısıtma, sadece soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bina Duvarlarının Yapısı

Bir binada en çok ısı kaybeden yerler bina duvarlarıdır. Bu nedenle, bina dış duvarlarının ısı yalıtımı, binadan olan ısı kaybı hesabında önemli bir faktördür. Binalardaki ısı kayıpları ve kazançlar en fazla dış duvarlardan, pencerelerden, çatıdan, yerlerden ve hava sızmasından kaynaklanır. Bu çalışmada, ısı kayıplarından ve sadece dış duvarlardan meydana gelen kazançlar dikkate alınarak teorik maksimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır.



Şekil 1. (a) Dıştan yalıtımlı ve (b) Sandviç duvar modelleri

Bu çalışmada, iki farklı duvar tipi çalışılmıştır. Bunlardan biri dıştan yalıtımlı duvar olup, 3 cm dış sıvadan (1), yalıtım malzemesi (2), 15 cm yatay delikli tuğla (3) ve 2 cm iç sıva (4) oluşmaktadır. Sandviç duvar ise 3 cm dış sıva (1), arasında yalıtım malzemesi (2) ve 2 parçadan biri 13.5cm (3) ve 8 cm yatay delikli tuğla (3) ve 2 cm iç sıvadan (4) oluşmaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada XPS (Ekstrüde polistren) ve EPS (genleştirilmiş polistren) yalıtım malzemesi olarak seçilmiştir. Malzeme seçiminde, bu malzemelerin illerde bulunabilme ve uygulanma kolaylığı özellikle etkili olmuştur. Malzemelere ait fiziksel özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Bu çalışmada, ısıtma için 18°C, soğutma için 22°C denge sıcaklıklarını için derece gün değerleri seçilmiştir. Çalışmada kullanılan yakıtların alt ısı değerleri, ısı verim ve fiyatları Tablo 2’de görülmektedir. Malatya ili Türkiye’nin 3. derece gün bölgesindedir. Malatya ilinin 15 oC denge sıcaklığı için ısıtma derece-gün değeri 2461 °C.gün, soğutma derece-gün değeri ise 407’dir.

Tablo 1. Dış duvar malzemelerinin fiziksel özellikleri

	Dıştan Yalıtımlı Duvar			Sandviç Duvar		
	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m ² K/W)	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m ² K/W)
İç sıva(kireç esaslı)	0.02	0.87	0.2298	0.02	0.87	0.2298
Yatay delikli tuğla	0.13	0.45	0.2888	0.135	0.45	0.2888
Yatay delikli tuğla				0.08	0.45	0.1777
Dış sıva(çimento esaslı)	0.02	1.4	0.0143	0.03	0.87	0.0345
R _i			0.1667			0.1667
R _o			0.0454			0.0454
R _{duv} (Yalıtım malzemesi hariç)			0.5383			0.7474

Tablo 2. Yakıt malzemesi parametreleri (Enerji dünyası dergisi, 2018)

Yakıt	Alt ısı değer(Hu)	Verim (η)	Yakıt fiyatı(C _{yakıt})
Doğalgaz	34526000 J/m ³	0.93	1.06 TL/m ³
Kömür	19794000 J/kg	0.65	0.68 TL/kg
Elektrik (soğutma için)	3599000 J/kWh	0.99	0.47TL/kWh

2.2. Dış Duvarlar İçin Isıtma ve Soğutma Yüğü

Dış duvarların birim yüzeyinde meydana gelen ısı kaybı,

$$q = U \Delta T \quad (1)$$

ile hesaplanır. Burada, U toplam ısı transfer katsayısıdır ve yalıtımlı bir dış duvar için aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U = \frac{1}{R_i + R_{duvar} + R_{yal} + R_o} \quad (2)$$

Burada, R_i iç ısı transfer direnci, R_o dış ısı transfer direnci olup, duvarın iç ve dış yüzeyindeki ısı transfer katsayıları sırasıyla 6 ve 22 W/m²K alınmıştır. R_{yal} ise yalıtım malzemesinin ısı direncidir ve

$$R_{yal} = \frac{x}{k} \quad (3)$$

olarak hesaplanır. Yalıtımsız duvar katmanlarının toplam direnci R_{duvar,t} olup, aşağıdaki denklem ile bulunur :

$$R_{duvar,t} = R_i + R_{duvar} + R_o \quad (4)$$

Toplam ısı transfer katsayısı;

$$U = \frac{1}{R_{w,t} + R_{yal}} \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Duvarın birim yüzeyinde meydana gelen yıllık ısı kaybı,

$$q_{yil,H} = 86400 HDD U \quad (6)$$

$$q_{yil,C} = 86400 CDD U \quad (7)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanabilir. Birim alanı ısıtmak için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı (Evin ve Uçar, 2019),

$$E_{yil,H} = \frac{86400 \times HDD}{(R_{yal} + R_{w,t}) \times \eta} \quad (8)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Soğutma için yıllık enerji ihtiyacı:

$$E_{yul,C} = \frac{86400 \times CDD}{(R_{yal} + R_{w,t}) \times COP} \quad (9)$$

ile hesaplanır. Bu çalışmada COP, 2.5 alınmıştır.

2.3. Optimum Yalıtım Kalınlığının ve Enerji Maliyetinin Hesabı

Binaların dış duvarlarına uygulanacak yalıtım bina yüzeyindeki ısı kaybını önemli ölçüde azaltmaktadır. Optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için maliyet analizinin yapılması gereklidir. Isıtma ve soğutma için yıllık enerji maliyeti aşağıdaki denklemlerle bulunur (Kurekci, 2016).

$$C_{A,H} = \frac{86400 \times HDD \times C_{yakıt}}{(R_{yal} + R_{w,t}) \times Hu \times \eta} \quad (10)$$

$$C_{A,C} = \frac{86400 \times HDD \times C_e}{(R_{yal} + R_{w,t}) \times COP}$$

(11) Şimdiki değer faktörü

$$r = \frac{i-g}{1+g} \quad (12)$$

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N} \quad (13)$$

şeklinde hesaplanır.

Tablo 5. Hesaplamalarda kullanılan parametreler (Evin ve Uçar, 2019; TÜİK, 2018)

Parametre	Değeri
Faiz oranı(i)	% 24
Enflasyon oranı(g)	% 21
Ömür süresi(N)	10 yıl
Şimdiki değer faktörü(PWF)	5.2910
<i>Yalıtım malzemesi</i>	
EPS	
k (W/mK)	0.039
C _y (TL/m ³)	190
XPS	
k (W/mK)	0.031
C _y (TL/m ³)	240
HDD (°C-gün)	
Malatya	2461
CDD (°C-gün)	
Malatya	407

Yalıtılmış binanın toplam ısıtma ve soğutma maliyeti:

$$C_{t,H} = C_{A,H} PWF + C_y x \quad (14)$$

$$C_{t,C} = C_{A,C} PWF + C_y x \quad (15)$$

şeklinde hesaplanır. Yalıtılmış bir binanın hem ısıtma hem soğutma maliyeti ise (Kurekci, 2016):

$$C_{t,H,C} = C_{A,H} PWF + C_{A,C} PWF + C_y x \quad (16)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Burada, C_{yal} yalıtım malzemesinin maliyeti olup, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{yal} = C_y x \quad (17)$$

Isıtma ve soğutma için elde edilecek enerji tasarrufu,

$$S_{A,H} = \frac{86400 \times HDD \times C_{yakıt}}{(R_{yal} + R_{w,t}) \times Hu \times \eta} PWF - C_y x \quad (18)$$

$$S_{A,C} = \frac{86400 \times HDD \times C_e}{(R_{yal} + R_{w,t}) \times COP} PWF - C_y x \quad (19)$$

Isıtma maliyeti minimum yapan optimum yalıtım kalınlığı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$x_{opt,H} = \left(\frac{86400 \text{ HDD } C_{yakıt} \text{ PWF } k}{H_u C_y \eta} \right)^{1/2} - R_{duvar,t} k \quad (20)$$

Soğutma için optimum yalıtım kalınlığı ise:

$$x_{opt,C} = \left(\frac{0.024 \text{ CDD } C_e \text{ PWF } k}{C_y \text{ COP}} \right)^{1/2} - R_{duvar,t} k \quad (21)$$

hesaplanır. Hem ısıtma hem de soğutma için yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı;

$$x_{opt,H,C} = 293.94 \left(\frac{86400 \times \text{HDD} \times C_{yakıt} \times \text{PWF} \times k}{H_u \times C_y \times \eta} + \frac{0.024 \times \text{CDD} \times C_e \times \text{PWF} \times k}{C_y \times \text{COP}} \right)^{1/2} - R_{duvar,t} k \quad (22)$$

ile hesaplanır.

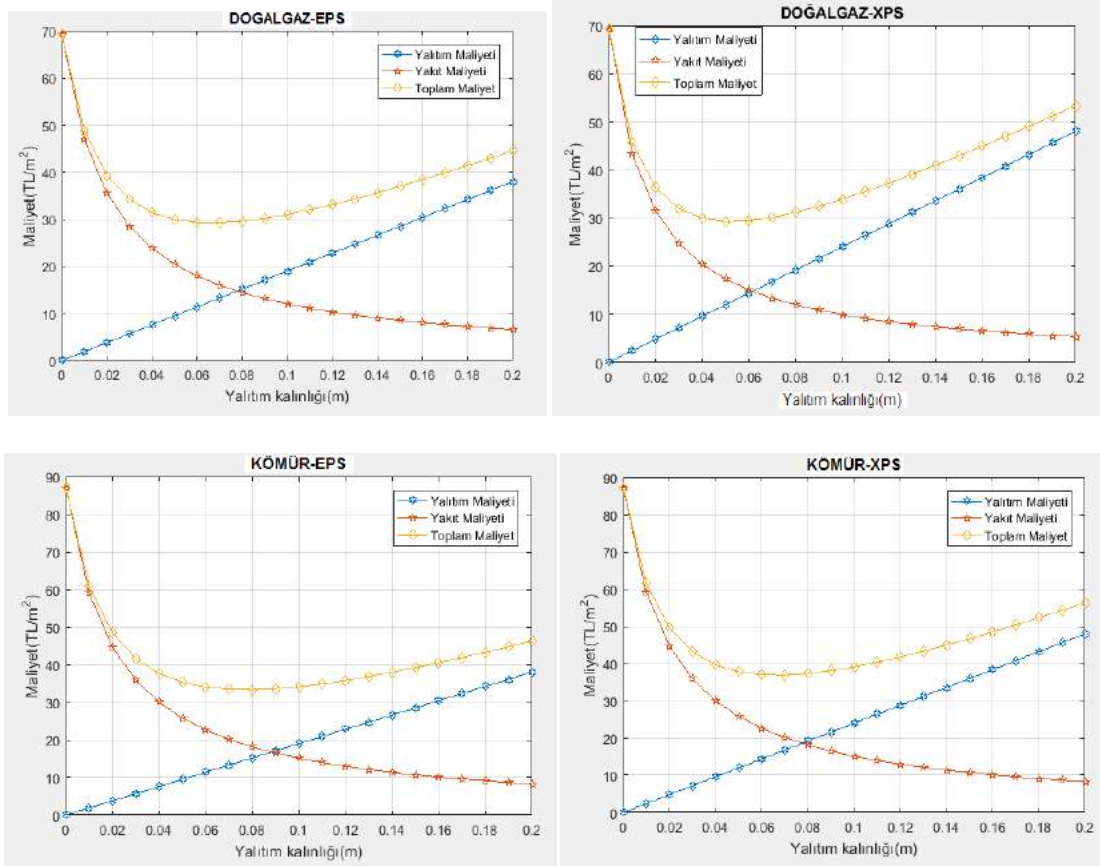
Geri ödeme süresi ise;

$$A = \frac{\text{Yalıtım maliyeti}}{(\text{Yalıtımsız binanın ısıtma maliyeti} - \text{Yalıtımlı binanın ısıtma maliyeti})} \quad (23)$$

ile hesaplanmaktadır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

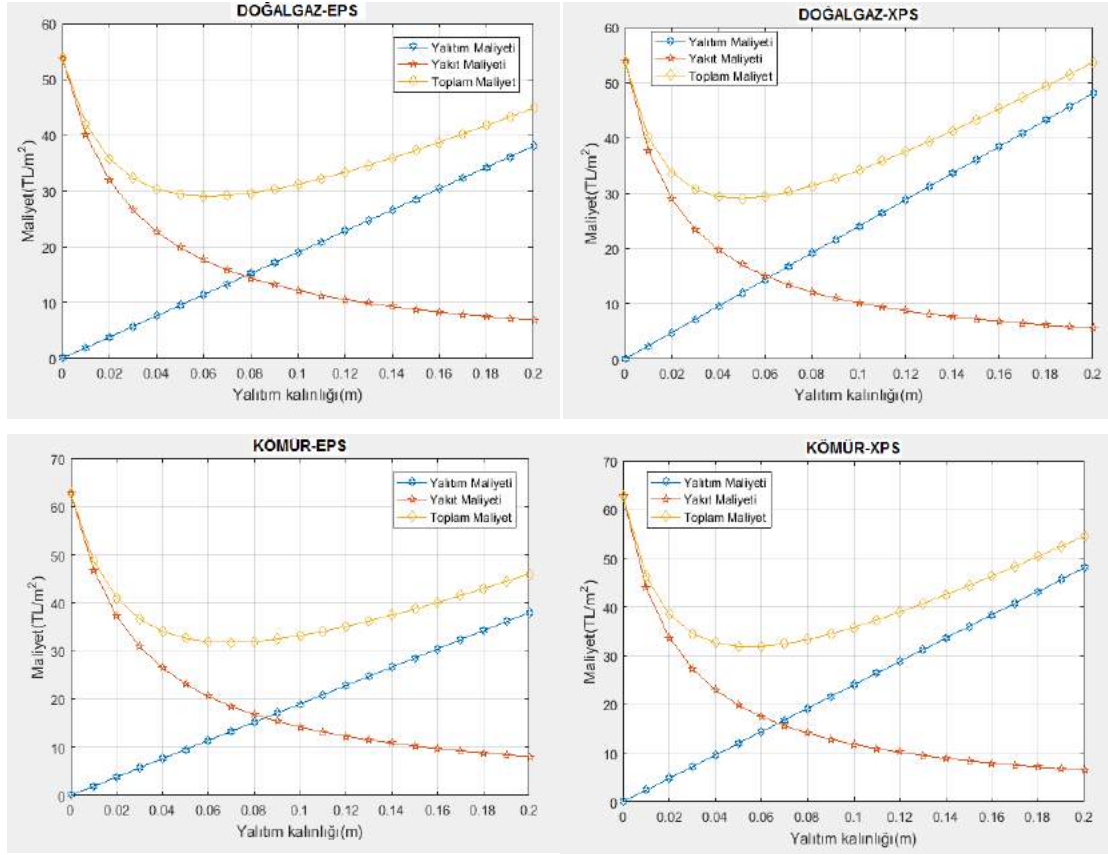
Toplam maliyeti etkileyen yalıtılmış bir binada iki önemli parametre mevcuttur. Bunlardan biri yalıtım maliyeti diğeri ise yakıt maliyetidir. Bilindiği gibi binalarda yalıtım kalınlığının artması ısı kaybını düşürür. Böylelikle birim alanı ısıtmak için gerekli olan enerji azalmakta toplam maliyet ise düşmektedir. Fakat yalıtım kalınlığı gerektiğinden daha fazla arttırmak, yalıtım maliyetini arttırır. Bununla birlikte yalıtım maliyetinin artması sonucu, belli bir kalınlıktan sonra toplam maliyet de artacaktır. Bu çalışmada Malatya ili için yalıtım malzemesinin optimum kalınlıkları, enerji tasarruf miktarı ve geri ödeme süreleri bulunmuştur.



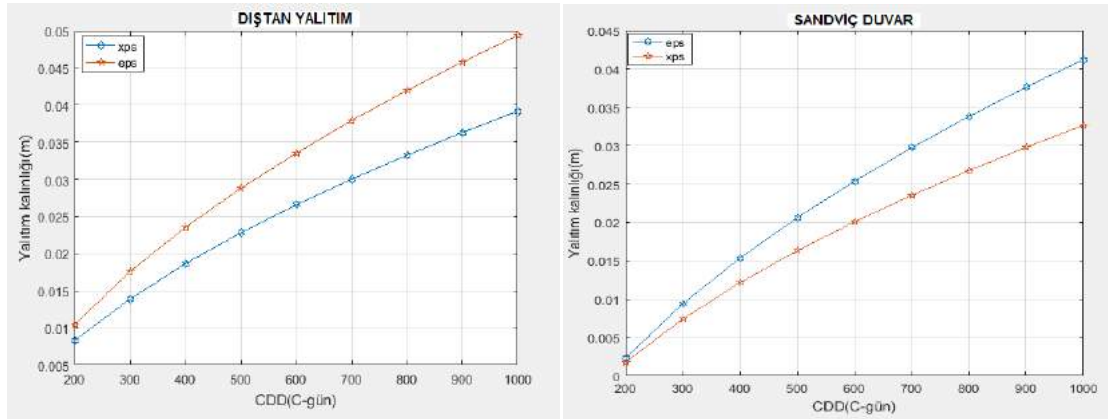
Şekil 2. Malatya ili için dıştan yalıtımlı duvar için iki farklı yalıtım malzemesi ve yakıt türü için maliyetin yalıtım kalınlığı ile değişimi

Şekil 2 ve Şekil 3'de dıştan yalıtımlı ve sandviç duvarlarda iki farklı yakıt türü ve yalıtım malzemesi için maliyetin yalıtım kalınlığı ile değişimi görülmektedir. Konutun dış duvarındaki yalıtım malzemesinin kalınlığı arttırıldığında, toplam ısıl direncinde atması sonucu

duvardan olan ısı kayıp miktarı azalmaktadır. Isı kayıp miktarının azalmasıyla yakıt maliyeti azalmaktadır. Ayrıca yalıtım kalınlığı arttıkça yalıtım maliyeti de artmaktadır. Çünkü uygulanan yalıtım kalınlığı arttıkça daha fazla yalıtım malzemesi gerekmektedir. Yalıtım maliyetinin artmasından dolayı, toplam maliyette artmaktadır. Toplam maliyetinin minimum olduğu yalıtım malzemesinin kalınlığı, optimum kalınlıktır. Sandviç duvar ve dıştan yalıtımlı duvar için bakıldığında yalıtım kalınlığının artmasıyla toplam maliyet, sandviç duvarda daha fazla olmaktadır. Duvar için seçilmiş yapı bileşenlerin ısı iletim katsayıları ile duvar bileşenlerin farklılığından dolayı, sandviç duvar ile dıştan yalıtımlı duvarın optimum yalıtım kalınlıkları da farklı olmaktadır.

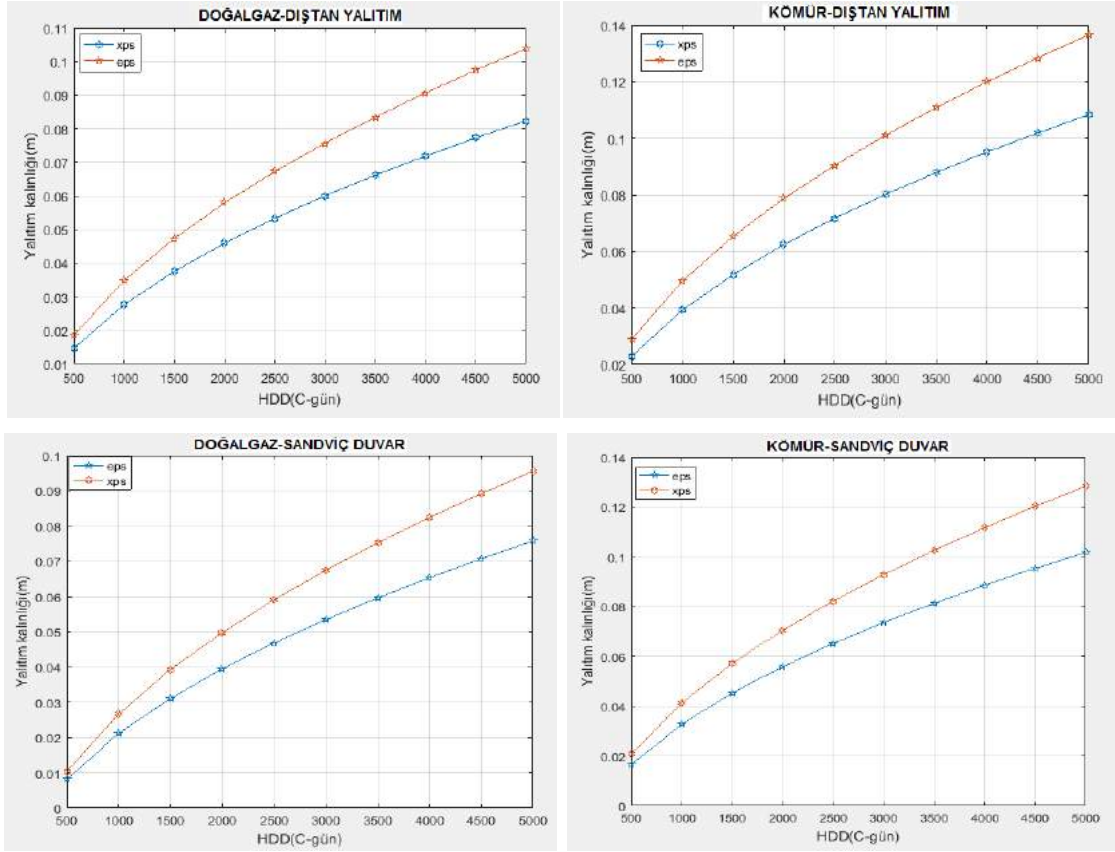


Şekil 3. Malatya ili için sandviç yalıtımlı duvar için iki farklı yalıtım malzemesi ve yakıt türü için maliyetin yalıtım kalınlığı ile değişimi

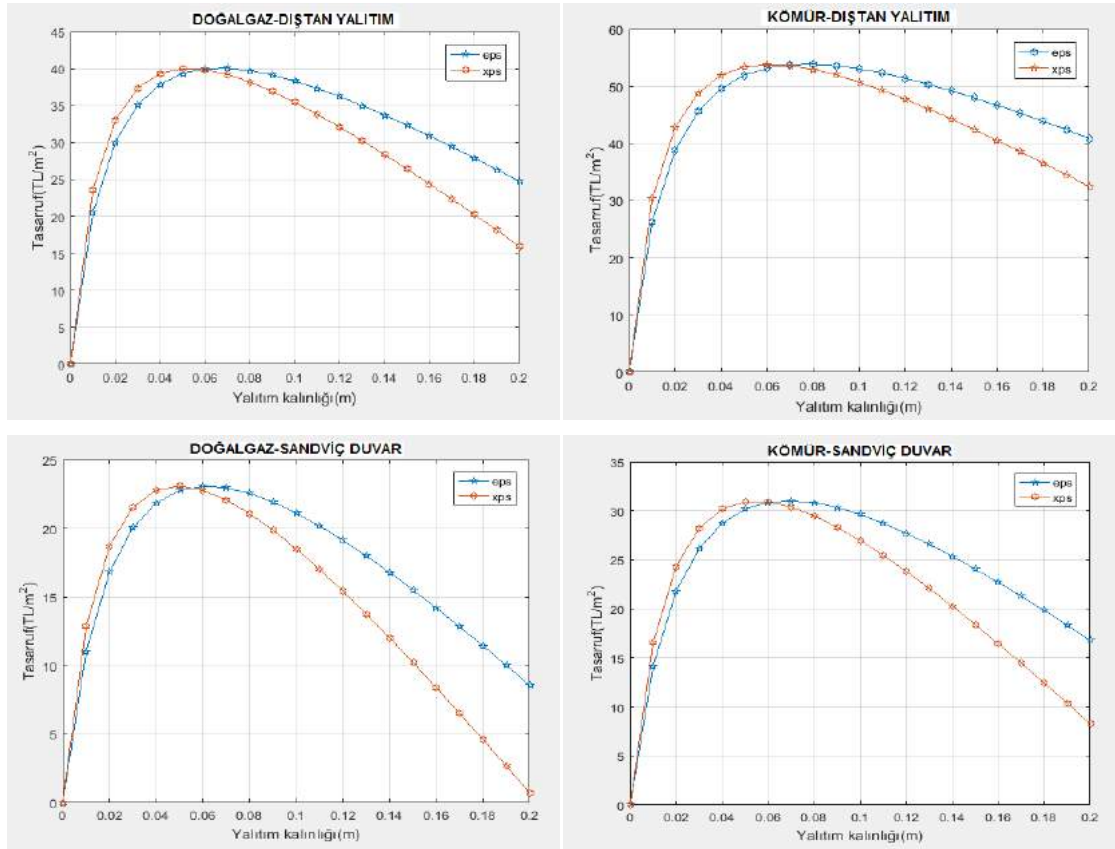


Şekil 4. Optimum yalıtım kalınlığının iki farklı duvar türü ve yalıtım malzemesi için soğutma derece gün sayısı ile değişimi

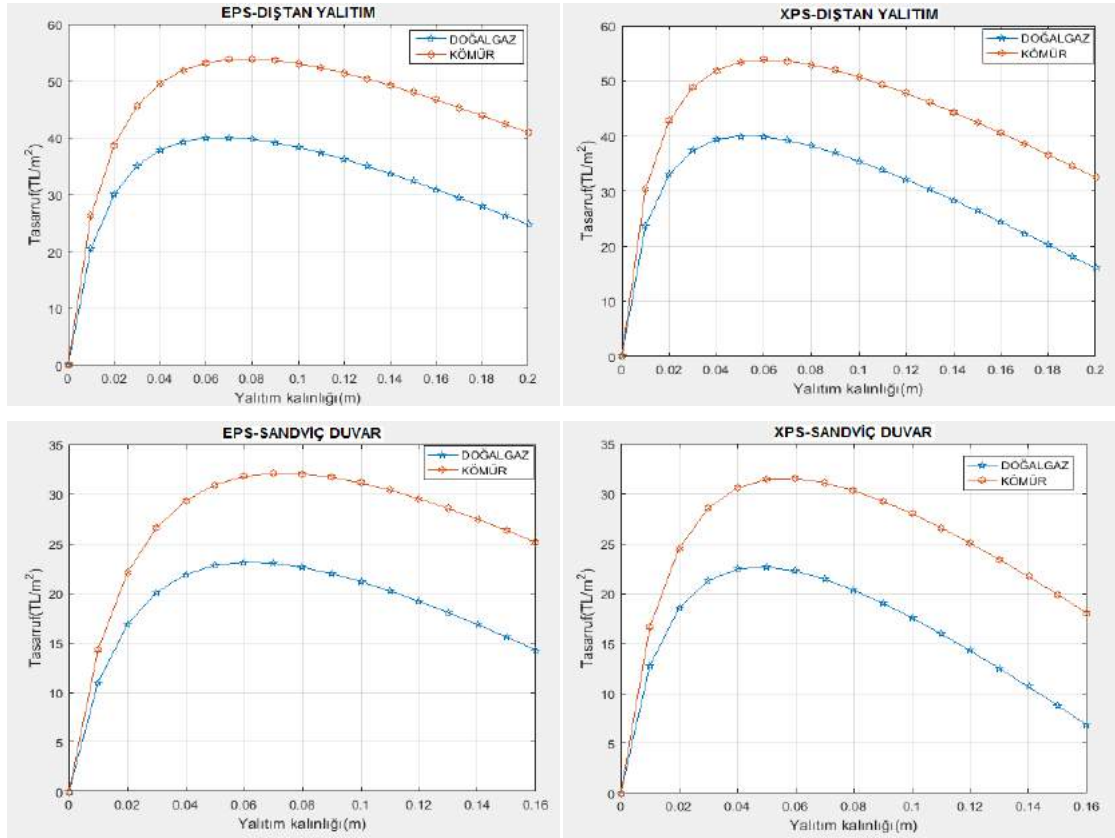
Şekil 4'de optimum yalıtım kalınlığının iki farklı duvar türü ve yalıtım malzemesi için soğutma derece gün sayısı ile değişimi doğal gaz yakıt türü için verilmiştir. Şekil 5'de ise optimum yalıtım kalınlığının iki farklı duvar türü, yalıtım malzemesi ve yakıt türü için ısıtma derece gün sayısı ile değişimi verilmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi, ısıtma derece-gün değeri büyük olan yani daha soğuk iklim bölgelerinde bulunan illerde optimum yalıtım kalınlığı daha fazla olmaktadır. Yalıtım malzemesi olarak kullanılan EPS ve XPS için incelendiğinde ısı iletim katsayısı büyük olan EPS ile yalıtım malzemesinin kalınlığı daha büyük olmaktadır. Derece gün sayısının düşük olduğu sıcak iklim bölgelerinde yalıtım kalınlıkları daha küçük olmaktadır. Aynı durum soğutma derece-gün sayısı ile yalıtım kalınlığının değişimi için de geçerlidir.



Şekil 5. Optimum yalıtım kalınlığının ısıtma derece gün sayısı ile değişimi

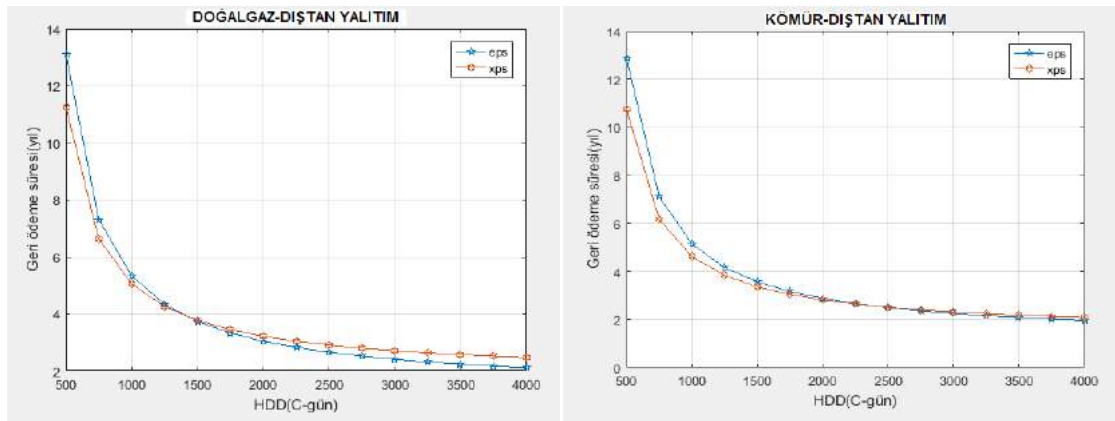


Şekil 6. Malatya ili için iki farklı yalıtım malzemesi için yalıtım kalınlığı ile tasarrufun değişimi



Şekil 6. Malatya ili için iki farklı yakıt türü için yalıtım kalınlığı ile tasarrufun değişimi

Şekil 5 ve Şekil 6'da iki farklı yalıtım malzemesi, iki farklı yakıt türü ile dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar için yalıtım kalınlığının tasarrufa etkisi gösterilmektedir. Grafiklerden enerji tasarrufunun yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte arttığı görülmektedir. Yakıt olarak kömür kullanılması durumunda elde edilecek enerji tasarruf miktarı doğalgaz göre daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni, kömürün düşük ısı değeri ve veriminin doğalgaza göre daha düşük olmasından dolayı birim alanı ısıtmak için gerekli olan enerji maliyeti, kömür için doğalgaza göre daha fazla olmasıdır. Şekil 7'de geri ödeme süresinin ısıtma derece gün sayısı ile değişimi verilmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi, geri ödeme süresinin derece gün sayısı arttıkça geri ödeme süresinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 7. Geri ödeme süresinin ısıtma derece gün sayısı ile değişimi

Tablo 6. Sandviç ve dıştan yalıtımlı duvar için iki farklı yakıt türü ve yalıtım malzemesi için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları, tasarruf ve geri ödeme süreleri

		DOĞALGAZ					KÖMÜR				
		X _{optH} (m)	X _{optC} (m)	X _{optHC} (m)	SA (TL/m ²)	A (yıl)	X _{optH} (m)	X _{optC} (m)	X _{optHC} (m)	SA (TL/m ²)	A (yıl)
Sandviç	EPS	0.0617	0.0158	0.0719	24.83	4.1953	0.0690	0.0158	0.0788	31.03	3.8064
	XPS	0.0489	0.0124	0.0549	24.79	4.2062	0.0547	0.0124	0.0624	30.98	3.8161
Dıştan yalıtımlı	EPS	0.0665	0.0235	0.0740	40.00	2.9403	0.0738	0.0156	0.0836	53.81	2.5714
	XPS	0.0559	0.0178	0.0587	53.87	2.9474	0.0585	0.0123	0.0645	60.45	2.5774

Tablo 6'da Malatya ilinde sandviç ve dıştan yalıtımlı duvar için iki farklı yakıt türü ve yalıtım malzemesi için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları, tasarruf ve geri ödeme süreleri verilmektedir. Dıştan yalıtımlı duvar da ısıtma için yakıt malzemesi olarak doğalgaz ve yalıtım malzemesi olarak EPS ve XPS seçilmesi durumunda; sırasıyla yalıtım kalınlıkları 0.0740 ve 0.0587 m, yıllık tasarrufları 40.00 ve 53.87 TL/m² olarak hesaplanmıştır. Sandviç duvar da ise yakıt olarak doğal gaz ve yalıtım malzemesinin EPS ve XPS olması durumunda, sırasıyla optimum yalıtım kalınlıkları 0.0836 ve 0.0645 m, yıllık tasarrufları 53.81 ve 60.45 TL/m² arasında bulunmuştur.

4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada Türkiye'nin üçüncü derece gün bölgesinde bulunan Malatya ili için konutun sadece ısıtılması, sadece soğutulması ve hem ısıtma ve hem de soğutulması durumunda optimum yalıtım kalınlıkları, yıllık kazanç ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bu amaçla MATLAB programı kullanılmıştır.

Dıştan yalıtımlı duvar da ısıtma için yakıt malzemesi olarak doğalgaz ve yalıtım malzemesi olarak XPS ve EPS için, sırasıyla optimum yalıtım kalınlıkları 0.0587 ve 0.0740 m, yıllık kazançları 53.87 ve 40.00 TL/m² iken, sandviç duvar da ise optimum yalıtım kalınlıkları 0.0645 ve 0.0836 m, yıllık tasarrufları 60.45 ve 53.81 TL/m² olarak hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi derece gün sayısı arttıkça azaldığı ve dıştan yalıtımlı duvarda sandviç duvara göre yaklaşık %30 daha küçük olduğu sonuçlardan görülmektedir.

Konutların ısıtma ve soğutma ihtiyacını azaltacak bina duvarlarında yapılan optimum kalınlıkta ısı yalıtımı, hem enerji tasarrufu hem de doğaya salınan baca gazı emisyonlarını azaltması açısından önem kazanmıştır.

Kaynakça

Aktemur, C., Atikol, U. (2017). Optimum Insulation Thickness for the Exterior Walls of Buildings in Turkey Based on Different Materials. *Energy Sources and Climate Regions, International Journal of Engineering Technologies-IJET*: 3, 72-82.

Bolatturk, A. (2003). Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Hesabı ve Enerji Tasarrufundaki Rolü. 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 41-47.

Canbolat, A. S., Bademlioglu, A. H., Kaynakli, O. (2018). Determination of proper insulation thickness for building walls regarding economic consideration. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*: 3, 173-176.

Çomaklı, K., Yüksel, B. (2003). Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving. *Applied Thermal Engineering*: 23,473-479.

Dombayci, Ö. A., Atalay, Ö., Acar, Ş. G., Ulu, E. Y., Ozturk, H.K. (2017). Thermoeconomic method for determination of optimum insulation thickness of external walls for the houses: Case study for Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*: 22, 1-8.

Demir, H. (2018). Determination of Optimum Insulation Thickness Distribution for Refrigerators, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*: 22 (1), 126-133.

Evin, D., Ucar A. (2019). Energy impact and eco-efficiency of the envelope insulation in residential buildings in Turkey. *Applied Thermal Engineering*: 154, 573-584.

Enerji dünyası dergisi, Teknik yayıncılık tanıtım AŞ, 2018. www.enerji-dunyasi.com

Faiz ve Enflasyon Oranları, 2018, www.tuik.gov.tr

Işık, E., & Tuğan, V. (2017). Tunceli, Hakkâri ve Kars İllerinin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2), 50-57.

Kaygusuz K., Kaygusuz A. (2004). Energy and sustainable development. Part II: Environmental impacts of energy use. *Energy Sources*: 26, 1071-1082.

Kaynaklı, O. (2008). A Study on Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness. *Renewable Energy*: 33, 1164-1172.

Kurekci, N.A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers. *Energy and Building*: 118, 197-213.

Nematchoua, M.K., Ricciardi, P., Reiter, S., Yvon, A. (2017). A comparative study on optimum insulation thickness of walls and energy savings in equatorial and tropical climate. *International Journal of Sustainable Built Environment*: 6, 170-182.

Ogulata, R.G. (2002). Sectoral energy consumption in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*: 6, 471-480.

Özel, M. (2018). Kars İlindeki Binalar İçin Isıtma Yüğü ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*: 30 (1), 251-257.

Semboller

A	Geri ödeme süresi (yıl)
$C_{\text{yakıt}}$	yakıtın birim fiyatı (TL/kg, TL/m ³)
H_u	yakıtın ısı değeri (kJ/kg)
CDD	Soğutma derece-gün sayısı, (°C-gün)
HDD	Isıtma derece-gün sayısı, (°C-gün)
C_e	elektrik birim maliyeti (TL/kWh)
C_{yal}	Yalıtım malzemesinin birim fiyatı (TL/m ³)
COP	soğutma performans katsayısı
x	ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı (m)
k	ısı iletim katsayısı (W/mK)
R_{duvar}	yalıtımsız duvar katmanlarının ısı direnci (m ² K/W)
R_i	iç ısı transfer direnci (m ² K/W)
R_o	dış ısı transfer direnci (m ² K/W)
R_{yal}	yalıtım malzemesinin ısı direnci (m ² K/W)
U	toplam ısı transfer katsayısı (W/m ² K)
PWF	şimdiki değer faktörü
SA	enerji tasarrufu (TL/m ²)
g	enflasyon oranı
i	faiz oranı
r	gerçek faiz oranı
N	ömür süresi (yıl)
η	Yakma sisteminin verimi



A Healthcare Facility Location Selection Problem with Fuzzy TOPSIS Method for a Regional Hospital

Pınar Miç^{1*}, Zahide Figen Antmen¹

¹ Çukurova University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Adana, Turkey (ORCID: 0000-0002-9655-0319, 0000-0001-8475-1300)

(İlk Geliş Tarihi 28 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 25 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.584217)

ATIF/REFERENCE: Miç, P. & Antmen, Z. F. (2019). A Healthcare Facility Location Selection Problem with Fuzzy TOPSIS Method for a Regional Hospital. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 750-757.

Abstract

As being a significant determination for companies, facility location can be regarded as a multi-criteria decision making (MCDM) problem. Nonetheless, facility location is not significant merely in companies, likewise, facility location decisions in healthcare are significant, as well. Furthermore, since human life is the point in healthcare facilities, facility location decisions in this field are vitally important. As are in other facility location problems, there are multiple criteria to be taken into consideration in health care facility location problems and managers in this area should evaluate alternatives under these criteria. Since this process includes uncertainties, it is suitable to integrate fuzzy logic to this process to obtain more accurate results. In line with this, in this study, a fuzzy approach with multi criteria is presented with regard to the evaluation of healthcare facility location. Within the study, in the framework of specified criteria, a fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) approach is suggested and the proposed approach is performed at a case study for regional hospital location selection in Adana province. The acquired results are expected to be a useful resource to the future decisions in this area for decision makers.

Keywords: Facility Location, Healthcare Facility Location Selection, Multi-criteria Decision Making, Fuzzy Logic, Fuzzy TOPSIS

Bir Bölge Hastanesi için Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Sağlık Hizmeti Tesis Yerleşimi Seçimi Problemi

Öz

Şirketler için en önemli kararlardan birisi olarak, tesis yerleşimi çok kriterli bir karar verme (ÇKKV) problemi olarak düşünülebilir. Fakat, tesis yerleşimi sadece şirketler için önemli değildir, aynı şekilde, sağlık hizmetindeki tesis yerleşimi kararları da çok önemlidir. Hatta, sağlık hizmeti tesislerinde insan hayatı söz konusu olduğu için, bu alandaki tesis yerleşimi kararları hayati derecede önemlidir. Diğer tesis yerleşimi problemlerinde olduğu gibi, sağlık hizmeti tesislerinin yerleşimi probleminde de dikkate alınması gereken kriterler vardır ve bu alandaki yöneticilerin bu kriterler altında alternatifleri değerlendirmesi gerekir. Bu süreç belirsizlikleri içerdiğinden dolayı, daha doğru sonuçlara ulaşmak için bu sürece bulanık mantığı ilave etmek uygun olacaktır. Bu doğrultuda, bu çalışmada, sağlık hizmeti tesis yerleşimi değerlendirmesi için çok kriterli bulanık bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışma dahilinde, belirlenen kriterler çerçevesinde bulanık bir TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yaklaşımı sunulmuştur ve önerilen yaklaşım Adana ilindeki bir bölge hastanesi yer seçimi vaka çalışması üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların, karar vericilere bu alandaki gelecekteki kararları için yararlı bir kaynak olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tesis Yerleşimi, Sağlık Hizmeti Tesis Yeri Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık Mantık, Bulanık TOPSIS

* Corresponding Author: Çukurova University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Adana, Turkey, ORCID: 0000-0002-9655-0319, pmic@cu.edu.tr, pinarmic@gmail.com

1. Introduction

Facility location has a great importance in product and service facilities since it helps reducing/removing visible or concealer losses. Furthermore, to be able to operate efficiently a production or service system, not only implementing the most appropriate plan and operational policies are required; also a suitable facility location is necessary (Gülsün, Tuzkaya, & Duman, 2011). Facility location problems may arise in many forms; thus it is crucial to design the facility location in the best manner.

As being both a service facility type but also as the topic of this study; healthcare facilities deliver health service to people. The accuracy of the decisions regarding healthcare facilities impacts the success of the organization directly. It impacts not only the success of healthcare facility; it also effects people's well-being who will be served from that healthcare facility. Particularly nowadays setting up a new facility is a hard decision and taking into account this point, it is obvious that site selection for healthcare facilities requires a large-scaled investment but also it is a troublesome and complicated process. In case that a healthcare facility is set up in a wrong location, it will lead to many troubles and extra costs which will obligate the administrators to deal with these problems. Due to these situations, there will not be positive results in terms of both social expectations and the economic situation of the healthcare facility.

In a broad perspective, there are various studies in literature regarding healthcare facilities. While some studies present a general overview and a review about facility locations in healthcare (Ahmadi-Javid, Seyedi, & Syam, 2017; Hamid Afshari, 2014); some studies focus on a specified field in healthcare facilities, such as intensive care units (Antmen, 2012; Miç & Antmen, 2018), physiotherapy service (Ogulata, Koyuncu, & Karakas, 2008) or emergency departments (Koyuncu, Araz, Zeger, & Damien, 2017). However, this study's purpose is deciding the most suitable healthcare facility location and for a more detailed literature review, we first focused on decision making problems and then their applications in healthcare facilities.

Decision making can be explained as a technique of making decisions/choices by obtaining information and evaluating alternatives. As in our case, there are a number of criteria to be assessed in this technique, thus it is called "multi criteria decision making (MCDM)". In literature, there are a variety of MCDM methods which are implemented at different sectors. Among the various MCDM techniques, Analytic Hierarchy Process (AHP), Elimination and Choice Translating Reality English (ELECTRE), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) and Preference ranking organization method for enrichment evaluation (PROMETHEE) are the most frequently used methods. A brief summary of some of these technique's area of use are presented thus: AHP technique at educational and vocational guide (Haji, Azmani, & Harzli, 2017), school site selection (Uslu, Kızıloğlu, İşleyen, & Kahya, 2017), determining teaching methods in chemistry education (Yüksel, 2013), hospital facility location selection problem (Wu, Lin, & Chen, 2007; Aydın, Öznehir, & Akçalı, 2009; Vahidnia, Alesheikh, & Alimohammadi, 2009; Datta, 2012; Vafaei, 2014; İnce, Bedir, & Eren, 2016). ELECTRE method for water management (Alvarez-Guerra, Viguri, & Voulvoulis, 2009), ecotourism (Ok, Okan, & Yilmaz, 2011), performance and benchmarking (Bilich & Da Silva, 2008), energy management (Avgelis & Papadopoulos, 2009), risk assessment (Brito, de Almeida, & Mota, 2010), facility layout (Aiello, Enea, & Galante, 2006) and supplier choosing (Montazer, Saremi, & Ramezani, 2009). TOPSIS method at banking and finance (Akyüz, Bozdoğan, & Hantekin, 2011; Amile, Sedaghat, & Poorhossein, 2013), mechanical ventilator selection (Antmen & Miç, 2018), supplier selection (Kumar, Kumar, & Gopal Barman, 2018; Shahroudi & Tonekaboni, 2012), education decisions (Arslan & Yıldız, 2015; Miç, Antmen, & Erdurak, 2019), safety evaluation (Li et al., 2011) and personnel selection (Kelemenis & Askounis, 2010; Şenel, Şenel, & Aydemir, 2017).

However, despite the studies about healthcare facility location in literature; the process of determining healthcare facility location contains uncertainties and it should be better to employ fuzzy logic in this field. In the light of these motives, for the hospital location selection problem, we integrated fuzzy logic and a MCDM method (TOPSIS) in this study since TOPSIS technique is one of the most applied techniques to determine facility locations. Some advantages of this method can be summarized as:

- It has an understandable and logical conception,
- It presents the reasoning of human choices,
- Computations in this technique are not complex and they are efficient,
- It permits the decision maker (DM) to assess the best and worst option's relative performance.

In the remainder of this paper, in Section 2, we present an overview about material and method. In Section 3, case study and results are demonstrated. Finally, Section 4 comprises outcomes and suggestions to next studies.

2. Material and Method

In this study, we utilized six criteria for evaluating hospital facility location and adopted fuzzy TOPSIS method for this aim.

2.1. Material

The location of the facility and its location has a significant importance for healthcare facilities. At this point, a decision maker, particularly for healthcare facility location selection problem, should take into account many criteria such as costs and social expectations and then evaluate multiple alternatives (Calvo & Marks, 1973). The quality and efficiency of provided health service increases in healthcare facilities which are built accurately. A healthcare facility location brings some problems together with it if it is not determined properly. For example, there must be factors to bear in mind to ensure patients and hospital staff to reach the hospital

within the shortest time. In addition, since hospitals are unmovable, it is crucial to select a feasible location against changing environmental conditions and epidemiological variations.

Therefore, after reviewing related literature and interviewing with hospital head physician authorities, we specified hospital location selection criteria to be utilized in fuzzy-TOPSIS method in the following:

- Demographic structure (C1) which includes the size of the population, the compound of the population (constitution, birth and death rates), livelihood as well as the distribution of the population and migration;
- Investment costs (C2) which includes hiring purchase, facility arrangement costs and environmental planning costs;
- Travel time and travel costs (C3) which includes the distance of travel (short/long) or direct/indirect transportations;
- Environmental factors (C4) which includes the traffic density, transportation type, closeness to the noise sources and suitability to urban planning;
- Infrastructure (C5) which includes parking areas, the sufficiency of infrastructure and noticeability;
- Location (C6) which includes closeness/distance to the regions that people live commonly.

These six criteria are employed in the utilized Fuzzy TOPSIS technique to decide the best suitable hospital location. In the study, we assumed that the population of candidate counties and investment costs for each alternative location are fixed.

2.2. Fuzzy-TOPSIS Technique

TOPSIS technique was first suggested by Hwang and Yoon (1981) and since that time it is between most utilized techniques for MCDM problems. Nevertheless, at the present time, many real world problems contain uncertainty and they cannot be solved with certain approaches. Thus, it is essential to apply linguistic expressions and fuzzy numbers to solve problems. Since our aim is to obtain most consistent results, we addressed the hospital location selection problem within fuzzy environment which was first raised by Zadeh (1965).

In the following, while Table 1 demonstrates the linguistic expressions and their correspondent fuzzy numbers for determination of determination criteria; Table 2 presents linguistic expressions and their correspondent fuzzy numbers for evaluating alternatives. A detailed information about fuzzy-TOPSIS method employed in this paper can be found in Chen, Lin, & Huang (2006). In this study, linguistic idioms which are presented below are utilized for specifying decision criteria weights and evaluating the alternatives, respectively.

Table 1. Linguistic idioms to specify decision criteria weights (Chen, 2000)

Linguistic Idioms	Fuzzy Numbers
Very High (VH)	(0.8,1,1)
High (H)	(0.7,0.8,0.9)
Medium High (MH)	(0.5,0.65,0.8)
Medium (M)	(0.4,0.5,0.6)
Medium Low (ML)	(0.2,0.35,0.5)
Low (L)	(0.1,0.2,0.3)
Very Low (VL)	(0,0,0.2)

Table 2. Linguistic idioms to evaluate the alternatives (Chen, 2000)

Linguistic Idioms	Fuzzy Numbers
Very Good (VG)	(8,10,10)
Good (G)	(7,8,9)
Medium Good (MG)	(5,6.5,8)
Medium (M)	(4,5,6)
Medium Poor (MP)	(2,3.5,5)
Poor (P)	(1,2,3)
Very Poor (VP)	(0,0,2)

3. Case Study and Results

For case study, we selected Adana province, which is one of the five biggest cities in Turkey. Total population in the city is 2,220,125 people (“Turkish Statistical Institute,” 2019). Adana’s location in Turkey map is presented by Figure 1.



Figure 1. Adana Province's Location in Turkey Map

Our purpose is to decide the best location of the new regional city hospital between 4 alternative county locations. These alternatives are:

- Seyhan (A1),
- Yüreğir (A2),
- Cukurova (A3),
- Sarıcam (A4).

The locations of these four candidate locations in Adana province are demonstrated with Figure 2 below.

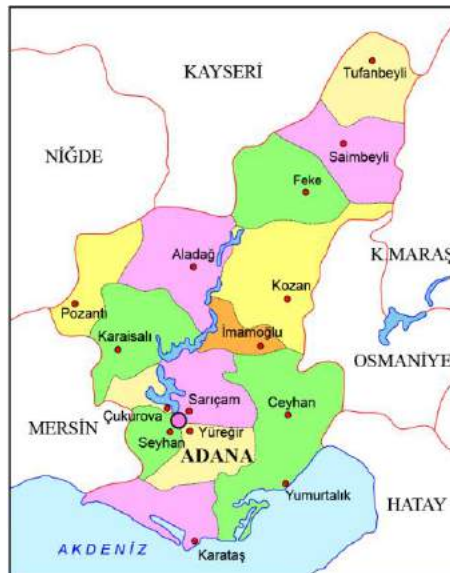


Figure 2. Locations of four candidate locations in Adana

The populations of these counties are 793,480; 415,198; 365,735 and 173,154 people, respectively (“Turkish Statistical Institute,” 2019).

For evaluation of criteria and alternatives, we consulted three hospital head physician authority as decision makers. They are notated anonymously as DM1, DM2 and DM3 within the study. After the determination of the criteria, the decision makers evaluated the related hospital facility location criteria according to Table 1. The evaluations of decision makers for each criteria are presented by Table 3.

Table 3. Criteria evaluation according to decision makers

Criteria	Decision Makers		
	DM1	DM2	DM3
C1	ML	M	M
C2	H	H	VH
C3	H	VH	H
C4	M	MH	M
C5	H	MH	H
C6	VH	H	VH

In line with these criteria evaluations, each criteria’s weight is calculated utilizing fuzzy numbers demonstrated with Table 1. Criteria weights which are obtained from DMs’ lingual expressions are presented by Table 4. As seen from Table 4, decision makers agreed that the most important criteria for addressed healthcare facility location selection problem is “Location” which is symbolized by “C6” in this study.

Table 4. Criteria weights obtained from lingual expressions

Criteria	Weights
C1	(0.33,0.45,0.57)
C2	(0.73,0.87,0.93)
C3	(0.73,0.87,0.93)
C4	(0.43,0.55,0.67)
C5	(0.63,0.75,0.87)
C6	(0.77,0.93,0.97)

Then, each candidate location option is evaluated by DMs for each criterion according to the lingual idioms given at Table 2. These evaluations are given with Table 5.

Table 5. Alternative evaluations for each criteria

Criteria	Alternatives	Decision Makers			Criteria	Alternatives	Decision Makers		
		DM1	DM2	DM3			DM1	DM2	DM3
C1	A1	VG	G	VG	C4	A1	G	G	G
	A2	G	MG	M		A2	G	MG	MG
	A3	M	M	M		A3	M	M	M
	A4	M	MP	MP		A4	MP	MP	MG
C2	A1	G	MG	G	C5	A1	G	G	VG
	A2	G	MG	MG		A2	MG	MG	MG
	A3	M	M	MG		A3	M	M	MG
	A4	M	M	MP		A4	MP	MP	MP
C3	A1	MG	MG	MG	C6	A1	VG	VG	VG
	A2	G	MG	MP		A2	MG	M	M
	A3	MG	M	MP		A3	M	MG	MP
	A4	MP	P	MP		A4	P	P	MP

Following this step, these evaluations (Table 5) are degraded to a one value and thus fuzzy decision matrix is built. It is demonstrated by Table 6 below.

Table 6. Fuzzy decision matrix

Criteria	Alternatives			
	A1	A2	A3	A4
C1	(5.75,7.00,7.25)	(4.00,4.88,5.75)	(3.00,3.75,4.50)	(2.00,3.00,4.00)
C2	(4.75,5.63,6.50)	(4.25,5.25,6.25)	(3.25,4.13,5.00)	(2.50,3.38,4.25)
C3	(3.75,4.88,6.00)	(3.50,4.50,5.50)	(2.75,3.75,4.75)	(1.25,2.25,3.25)
C4	(5.25,6.00,6.75)	(4.25,5.25,6.25)	(3.00,3.75,4.50)	(2.25,3.38,4.50)
C5	(5.50,7.00,7.00)	(3.75,4.88,6.00)	(3.25,4.13,5.00)	(1.50,2.63,3.75)
C6	(6.00,7.50,7.50)	(3.25,4.13,5.00)	(2.75,3.75,4.75)	(1.00,1.88,2.75)

Then, fuzzy decision matrix is converted into normalized fuzzy decision matrix. This process is performed for each column by dividing each value in that column to the biggest value in related column. Since our matrix has four alternatives namely columns, we performed this process for all these columns (alternatives). Normalized fuzzy decision matrix is demonstrated with Table 7.

Table 7. Normalized fuzzy decision matrix

Criteria	Alternatives			
	A1	A2	A3	A4
C1	(0.79,0.97,1.00)	(0.55,0.67,0.79)	(0.41,0.52,0.62)	(0.28,0.41,0.55)
C2	(0.73,0.87,1.00)	(0.65,0.81,0.96)	(0.50,0.63,0.77)	(0.38,0.52,0.65)
C3	(0.63,0.81,1.00)	(0.58,0.75,0.92)	(0.46,0.63,0.79)	(0.21,0.38,0.54)
C4	(0.78,0.89,1.00)	(0.63,0.78,0.93)	(0.44,0.56,0.67)	(0.33,0.50,0.67)
C5	(0.79,1.00,1.00)	(0.54,0.70,0.86)	(0.46,0.59,0.71)	(0.21,0.38,0.54)
C6	(0.80,1.00,1.00)	(0.43,0.55,0.67)	(0.37,0.50,0.63)	(0.13,0.25,0.37)

Next, each value in normalized fuzzy decision matrix is multiplied by related criteria’s weight which was given by Table 4. In this way, weighted normalized fuzzy decision matrix is acquired and it is presented by Table 8 below.

Table 8. Weighted normalized fuzzy decision matrix

Criteria	Alternatives			
	A1	A2	A3	A4
C1	(0.26,0.43,0.57)	(0.18,0.30,0.45)	(0.14,0.23,0.35)	(0.09,0.19,0.31)
C2	(0.54,0.75,0.93)	(0.48,0.70,0.90)	(0.37,0.55,0.72)	(0.28,0.45,0.61)
C3	(0.46,0.70,0.93)	(0.43,0.65,0.86)	(0.34,0.54,0.74)	(0.15,0.33,0.51)
C4	(0.34,0.49,0.67)	(0.27,0.43,0.62)	(0.19,0.31,0.44)	(0.14,0.28,0.44)
C5	(0.50,0.75,0.87)	(0.34,0.52,0.74)	(0.29,0.44,0.62)	(0.14,0.28,0.46)
C6	(0.61,0.93,0.97)	(0.33,0.51,0.64)	(0.28,0.47,0.61)	(0.10,0.23,0.35)

In the last stage of the method, fuzzy positive ideal solution (FPIS– A^*) and fuzzy negative ideal solution (FNIS– A^-) are computed for all alternatives. These calculations lead to obtain each alternative city’s distance from these solutions denoted as d_i^* and d_i^- . In the final, closeness coefficient (C_i) of each candidate city is specified, which are presented with Table 9. The alternative which has higher C_i is the best alternative to locate the city hospital.

Table 9. Closeness coefficient values of each alternative and rankings

Alternative	C_i	Ranking
A1	0.76	1
A2	0.66	2
A3	0.59	3
A4	0.50	4

Table 9 shows the closeness coefficient values of each candidate city, also the rankings. As seen from the table, the ranking of alternatives will be: $A1 > A2 > A3 > A4$. This means that the best location to set up the regional city hospital is A1, namely Seyhan county in Adana, Turkey.

4. Conclusions

Although in the early stages, facility location was based upon only the minimization of transportation costs; later the importance of facility location on service quality is realized and thus its importance is increased. Besides, hospital administration has the opportunity to apply different strategies at different times to raise service quality or decrease costs. On the other hand, due to a built hospital’s location cannot be changed later, choosing the right place in the beginning is highly important. Also, hospitals must be located to the most suitable locations to serve patients in the fastest and best way.

Determining the best healthcare facility location is a MCDM problem which contains various criteria. In this decision, personal knowledges are not enough and evaluating the subject from different perspectives should be better. Accordingly, this problem is addressed via a decision making technique in this study. Since TOPSIS is one of the most-utilized methods in MCDM problems and healthcare facility decisions, we adopted this method within the fuzzy environment. The criteria for hospital locations are gained reviewing related literature and consulting hospital head physician authorities. As a case study, we implemented the proposed method

to regional city hospital location selection problem in one of the biggest cities, Adana in Turkey. As a result, Seyhan county is revealed as the best city hospital location.

For further studies, the suitability of other MCDM methods and fuzzy approaches can be examined to healthcare facility location determination question. Also, after the determining of healthcare facility location, the settlement of healthcare facility's departments can be addressed.

References

- Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., & Syam, S. S. (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers and Operations Research*, 79, 223–263. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.05.018>
- Aiello, G., Enea, M., & Galante, G. (2006). A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22(5–6), 447–455. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2005.11.002>
- Akyüz, Y., Bozdoğan, T., & Hantekin, E. (2011). TOPSIS Yöntemiyle Finansal Performansın Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama. *Afyon Kocatepe University Journal of Economics and Administrative Sciences*, 13(1), 73–92.
- Alvarez-Guerra, M., Viguri, J. R., & Voulvoulis, N. (2009). A multicriteria-based methodology for site prioritisation in sediment management. *Environment International*, 35(6), 920–930. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.03.012>
- Amile, M., Sedaghat, M., & Poorhossein, M. (2013). Performance Evaluation of Banks using Fuzzy AHP and TOPSIS, Case study: State-owned Banks, Partially Private and Private Banks in Iran. *Caspian Journal of Applied Sciences Research*, 2(3), 128–138. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/280100441>
- Antmen, Z. F. (2012). *Üçüncü Basamaklı Yoğun Bakım Üniteleri Kapasite Planlama Problemi için Benzetim Modelleri ve Uygulamaları*. Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, PhD Thesis, Adana.
- Antmen, Z. F., & Miç, P. (2018). Selection of Mechanical Ventilator in Pediatric Intensive Care Unit by Multi- Criteria Decision Making and a Case Study. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 33(4), 17–30.
- Arslan, H. M., & Yıldız, M. S. (2015). Application of Fuzzy TOPSIS Method on Location Selection of Educational Facilities: A Location Analysis in Düzce. *The Journal of International Social Research*, 8(36), 763–773.
- Avgelis, A., & Papadopoulos, A. M. (2009). Application of multicriteria analysis in designing HVAC systems. *Energy and Buildings*, 41(7), 774–780. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.02.011>
- Aydın, Ö., Öznehir, S., & Akçalı, E. (2009). Optimal Hospital Location Selection by Analytical Hierarchy Process. *Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 14(2), 69–86. Retrieved from <https://docplayer.biz.tr/22754986-Optimal-hospital-location-selection-by-analytical-hierarchical-process.html>
- Bilich, F., & Da Silva, R. (2008). Valuation and Optimization of the Impact of Intellectual Capital on Organizational Performance. *PORTUGUESE JOURNAL OF MANAGEMENT STUDIES*, XIII(3), 341–359. Retrieved from https://ejms.iseg.ulisboa.pt/files/2008-Valuation_and_optimization_of_the_impact_of_intellectual_capital_on_organizational_performance.pdf
- Brito, A. J., de Almeida, A. T., & Mota, C. M. M. (2010). A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 812–821. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.016>
- Calvo, A. B., & Marks, D. H. (1973). Location of health care facilities: An analytical approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 7(5), 407–422. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(73\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0038-0121(73)90039-6)
- Chen, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)
- Chen, C.-T., Lin, C.-T., & Huang, S.-F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289–301. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2005.03.009>
- Datta, S. (2012). Multi-criteria multi-facility location in Niwai block, Rajasthan. *IIMB Management Review*, 24(1), 16–27. <https://doi.org/10.1016/J.IIMB.2011.12.003>
- Gülsün, B., Tuzkaya, G., & Duman, C. (2011). Genetik Algoritmalar ile Tesis Yerleşimi Tasarımı ve Bir Uygulama. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 10(1), 73–87.
- Haji, E. EL, Azmani, A., & Harzli, M. El. (2017). Using AHP Method for Educational and Vocational Guidance. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 1, 9–17. <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2017.01.02>
- Hamid Afshari, Q. P. (2014). Challenges and Solutions for Location of Healthcare Facilities. *Industrial Engineering & Management*, 03(02), 1000127. <https://doi.org/10.4172/2169-0316.1000127>
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications A State-of-the-Art Survey*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_1
- İnce, Ö., Bedir, N., & Eren, T. (2016). Hospital Establishment Site Selection Problem with Modelling Analytic Hierarchy Process-Tuzla District Application. *Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(3), 8–21. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/download/article-file/334540>
- Kelemenis, A., & Askounis, D. (2010). A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection. *Expert Systems with Applications*, 37(7), 4999–5008. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.013>
- Koyuncu, M., Araz, O. M., Zeger, W., & Damien, P. (2017). A simulation model for optimizing staffing in the emergency department. *Springer Proceedings in Mathematics and Statistics*, 210, 201–208. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66146-9_18
- Kumar, S., Kumar, S., & Gopal Barman, A. (2018). Supplier Selection Using Fuzzy TOPSIS Multi Criteria Model for a Small Scale

- Steel Manufacturing Unit. *Proceida Computer Science*, 133, 905–912. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.097>
- Li, X., Wang, K., Liuz, L., Xin, J., Yang, H., & Gao, C. (2011). Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines. *Procedia Engineering*, 26, 2085–2091. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2410>
- Miç, P., & Antmen, Z. F. (2018). Yoğun Bakım Ünitelerinde Ventilatör Kullanımının Literatür İncelemesi. In H. Akça, M. Eraslan, & M. F. Sansar (Eds.), *2nd International Congress on Multidisciplinary Studies* (p. 1157). Adana, Turkey: Gece Kitaplığı.
- Miç, P., Antmen, Z. F., & Erdurak, M. Ö. (2019). Öğrencilerin Seçmeli Ders Seçimi Problemine Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı. In G. Başyigit Kiliç, A. Çiftçi, & A. Yılmaz (Eds.), *Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler* (p. 148). Ankara: Gece Akademi.
- Montazer, G. A., Saremi, H. Q., & Ramezani, M. (2009). Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 10837–10847. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.01.019>
- Ogulata, S. N., Koyuncu, M., & Karakas, E. (2008). Personnel and patient scheduling in the high demanded hospital services: A case study in the physiotherapy service. *Journal of Medical Systems*, 32(3), 221–228. <https://doi.org/10.1007/s10916-007-9126-4>
- Ok, K., Okan, T., & Yılmaz, E. (2011). A comparative study on activity selection with multicriteria decision-making techniques in ecotourism planning. *Scientific Research and Essays*, 6(6), 1417–1427. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79957650870&partnerID=40&md5=f95b850984434c7a67598f4901162a2e>
- Şenel, B., Şenel, M., & Aydemir, G. (2017). Multi Criteria Decision Making Method TOPSIS with Personnel Selection. *International Refereed Journal of Researches on Economy Management*, 13, 19–70. <https://doi.org/10.17373/UHEYAD.2017.3.3>
- Shahroudi, K., & Tonekaboni, S. M. S. (2012). Application of TOPSIS Method to Supplier Selection in Iran Auto Supply Chain. *Journal of Global Strategic Management*, 6(2), 123–131. <https://doi.org/10.20460/JGSM.2012615779>
- Turkish Statistical Institute. (2019). Retrieved June 25, 2019, from <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>
- Uslu, A., Kızıloğlu, K., İşleyen, S. K., & Kahya, E. (2017). Geographic information system-based AHP-TOPSIS approach for school site selection: A case study for Ankara. *Journal of Polytechnic*, 20(4), 933–943. <https://doi.org/10.2339/politeknik.369099>
- Vafaei, N. (2014). *Selecting the Field Hospital Location for Disasters: a Case Study in Istanbul*. Istanbul Technical University. Retrieved from <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/15108/1/10047743.pdf>
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., & Alimohammadi, A. (2009). Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. *Journal of Environmental Management*, 90(10), 3048–3056. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.010>
- Wu, C. R., Lin, C. T., & Chen, H. C. (2007). Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis. *Building and Environment*, 42(3), 1431–1444. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.12.016>
- Yüksel, M. (2013). Determination of Teaching Methods in Chemistry Education by the Analytic Hierarchy Process (AHP). *Necatibey Faculty of Education Electronic Journal of Science and Mathematics Education*, 7(1), 302–332. <https://doi.org/10.12973/nefmed163>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338–353.



Farklı Ekmek Çeşitlerinde Doğal Olarak Bulunan Vitamin B₁, B₂ ve B₆'nın *In Vitro* Biyoerişebilirliğinin İncelenmesi

Mustafa Yaman^{1*}

¹ İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9692-0204)

(İlk Geliş Tarihi 17 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.593444)

ATIF/REFERENCE: Yaman, M. (2019). Farklı Ekmek Çeşitlerinde Doğal Olarak Bulunan Vitamin B₁, B₂ ve B₆'nın *In Vitro* Biyoerişebilirliğinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 758-764.

Öz

Tahıl ürünleri; günlük enerjini gereksiniminin büyük bir kısmını karşılar. Bunun yanında yüksek miktarda suda çözünebilir vitaminlerden olan B₁, B₂ ve B₆ vitamini içermektedir. Fakat bu vitaminlerin vücuttaki biyoyararlılıkları ve biyoerişilebilirlikleri farklıdır. Bu çalışmanın amacı beslenmemizde yer alan beyaz, tam buğday, kepekli ve yulafli ekmekte bulunan vitamin B₁, B₂ ve B₆'nın biyoerişilebilirliklerinin *in vitro* olarak simüle edilmiş ağız, mide ve ince bağırsak ortamında incelemektir. Çalışmada vitamin içerikleri Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) ile belirlenmiştir. B₁ vitamininin biyoerişilebilirliği %45 ile %73 arasında bulunurken B₂ vitaminini biyoerişilebilirliği %56 ile %75 arasında bulundu. İstatiksel olarak değerlendirildiğinde en düşük biyoerişilebilirlik B₁ ve B₂ vitamininde de yulafli ekmekte bulunmuştur. Vitamin B₆'da ise biyoerişilebilirlik %56 ile %67 arasında bulunmuştur. En yüksek biyoerişilebilirlik PN formunda bulunurken en düşük PL ve PM formunda bulunmuştur. Bunun yanında yulaf içeren ekmeklerdeki vitamin B₁, B₂ ve B₆ biyoerişilebilirliği diğer ekmek türlerine göre daha düşük bulunmuştur. Sonuç olarak ekmekten almış olduğumuz B grup vitamin seviyeleri günlük enerji ihtiyacımız ile bir paralellik göstermemektedir. Dolayısıyla günlük beslenmemizde ekmeğin yanında B grup vitamin yönünden zengin besinler tüketilebilir.

Anahtar Kelimeler: Ekmek, Vitamin B₁, Vitamin B₂, Vitamin B₆, Biyoerişilebilirlik

Investigation of *In Vitro* Bioaccessibility of Naturally Available Vitamins B₁, B₂ and B₆ in Different Bread Varieties

Abstract

Grain products; meets a large part of the daily energy requirement. It also contains high amounts of water-soluble vitamins B₁, B₂ and B₆. However, the bioavailability of these vitamins are different. The aim of this study is to investigate the bioaccessibility of vitamins B₁, B₂ and B₆ in white, whole wheat, whole wheat and oat bread in our diet in simulated mouth, stomach and small intestine environment. Vitamin contents were determined by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The bioaccessibility of vitamin B₁ was between 45% and 73%, while the bioaccessibility of vitamin B₂ was between 56% and 75%. The lowest bioaccessibility was found in oat bread in vitamins B₁ and B₂. In vitamin B₆, bioaccessibility was between 56% and 67%. The highest bioaccessibility was found in PN form and the lowest in PL and PM form. In addition, the bioaccessibility of vitamins B₁, B₂ and B₆ in oat bread was lower than other bread types. As a result, vitamin B levels obtained from bread do not correlate with our daily energy needs. Therefore, in our daily nutrition, foods rich in B group vitamins can be consumed with bread.

Keywords: Bread, Vitamin B₁, Vitamin B₂, Vitamin B₆, Bioaccessibility

1. Giriş

Sağlıklı bir beslenmede günlük kalorinin %10-15'i proteinlerden, %30-35'i yağlardan ve %50-60'ı karbohidratlardan sağlanır (Köseoğlu, 2019). Tahıl ürünleri; günlük enerjinin %37'sini, karbohidratların %56'sını ve proteinlerin de %37'sini tek başına

* Corresponding author: Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, İstanbul Sabahattin Zaim University, İstanbul, Turkey, ORCID: 0000-0001-9692-0204, mustafayaman1977@gmail.com

karşılmaktadır (Arslan vd. 2006). Yapılan başka bir araştırmada tahıl ürünleri günlük enerjinin %52'sini, karbonhidratların ise %66'sını karşılmaktadır (Ünalsan, 1994). 2012 verilerine göre ise Türkiye'de kalori tüketiminin %47,9'u buğdaydan yapılan ekmek ve diğer ürünlere dayanmaktadır (TZOB, 2012). Tahıl ürünleri yüksek miktarda suda çözünebilir vitaminlerden olan B₁, B₂ ve B₆ vitaminlerini içermektedir (TURKOMP, 2019). B₁ vitamini gıdalarda serbest olarak tiyamin formunun yanında fosfat bağlı olarak tiyamin pirofosfat ve tiyamin mono-fosfat şeklinde bulunabilir. B₂ vitamini ise gıdalarda serbest olarak riboflavin, flavin mono nükleotit ve flavin adenin dinükleotit şeklinde bulunmaktadır. B₆ vitamini ise gıdalarda pridoksal, pridoksin, pridoksamin ve bu formlara bağlı fosfat ve glikozitli formları şeklinde de bulunabilmektedir (Ndaw vd. 2000). B₁ vitamini koenzim olarak enerji metabolizmasında piruvatın asetil CoA'ya dönüşümünde, B₂ vitamini ise trikarboksilik ve elektron taşıma zincirinde görev almaktadır. B₆ vitamini ise özellikle protein metabolizmasında transaminasyon ve deaminasyon metabolizmasında görev alır (Ball, 2004). Yetişkin bir bireyde günlük B₁ ve B₂ vitamini ihtiyacı yaklaşık 1.2 mg iken B₆ vitamini ihtiyacı 1.6 mg'dır (Food and Nutrition Board, 1998).

Suda çözünebilir vitaminler ısı, ışık ve ortamın pH'ından etkilenmektedir. Dolayısıyla bu vitaminlerin miktarlarında önemli ölçüde kayıplar olabilmektedir. Bunun yanında suda çözünebilir vitaminler gıdalarda polisakaritlere ve polipeptidlere kovalent olmayan bağlar ile de bağlı bulunabilir (Ball, 2006). Bu nedenle bu vitaminler gastrointestinal sistemin pH'ına bağlı olarak serbest hale geçemeyebilir. Dolayısıyla bu vitaminlerin gastrointestinal sistemde alım seviyesi etkilenmektedir (Yaman vd. 2019).

Günümüzde bir besinde bulunan vitamin gibi besin öğelerinin biyoyararlılığını bilmek sağlıklı diyetler oluşturulması açısından önemlidir (Van den Berg vd. 2002). Fakat biyoyararlılık çalışmaları klinik çalışma gerektirdiğinden hem etik kurul hem de zaman ve maliyet açısından dezavantajları vardır. Bu nedenle günümüzde besin öğelerinin bioerişilebilirliğini belirlemede in vitro yöntemler kullanılmaktadır (Hur vd. 2012). Özellikle gıdaların glisemik indekslerini belirlemede in vitro ve in vivo çalışmalar arasında benzer korelasyonlar bulunmuştur (Magelatta vd. 2010). Bu çalışmanın amacı; günlük beslenmemizde önemli bir yere sahip olan ekmek çeşitlerinde bulunan B₁, B₂ ve B₆ vitaminlerinin bioerişilebilirliğinin in vitro olarak oluşturduğumuz ağız, mide ve ince bağırsak ortamında incelemek ve beslenme açısından değerlendirmektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örneklem

Çalışmada beyaz, tam buğday, kepekli ve yulaf'lı ekmek İstanbul'daki fırınlardan temin edildi.

2.1.1. Vitamin B₁, B₂ ve B₆ Ekstraksiyonu

Vitamin B₁, B₂ ve B₆ ekstraksiyonunda Ndaw vd. (2002) tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek kullanıldı. Homojen edilmiş 5 g ekmek örneği 100 ml'lik erlene tartıldı ve üzerine 50 ml 0.1 N hidroklorik asit çözeltisi ilave edildi. Daha sonra 121°C'de 30 dakika otoklavda bekletildi. Örnekler oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve pH 4.5'e 2.5 M'lik sodyum asetat çözeltisi ile ayarlandı. Fosfat ve glikozit bağlı olan vitaminler enzimatik olarak serbest hale getirildi. Bu aşamada; 100 mg taka-diazoz, 5 mg asit fosfataz ve 10 mg β-glukozidaz enzimi eklendi ve çalkalamalı su banyosunda 45 °C'de vitamin B₁ ve B₂ vitamini için 3 saat, B₆ vitamini için ise 16 saat süre ile inkübe edildi. Bu işlemden sonra hacim 100 ml'ye 0.1 N hidroklorik asit çözeltisi ile tamamlandı. Karışım ilk önce adi filtre kâğıdından süzüldü ve sonra 0.45 µm'lük selüloz asetat filtreden geçirildi ve HPLC'ye enjekte edildi.

2.1.2. HPLC koşulları

Vitamin B₆: Vitamin B₆ analizinde Kall (2003) tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek kullanıldı. 9 g potasyum dihidrojen fosfat ve 0.5 g oktansülfonik asit tartıldı ve üzerine 900 ml deiyonize su ilave edilerek çözündürüldü. Daha sonra üzerine 40 ml asetonitril (ACN) ilave edildi ve hacim 1000 ml deiyonize su ile tamamlandı. Çözeltinin pH'ı 2.8'e orto-fosforik ile ayarlandı ve vakum altında 0.22 µm'lük filtreden süzüldü. Vitamin B₆ analizinde Shimadzu Nexera-i (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) marka HPLC ile birlikte floresans dedektör kullanıldı. Floresans dedektör eksitasyon 290 nm'ye, emisyon ise 395 nm'ye ayarlandı. Vitamin B₆'nın PL, PN ve PM formlarını ayırmada Gemini-NX 5µ C18 110 Å, 4.6 x 250 mm (Phenomenex, CA, USA) kolon kullanıldı. Akış hızı 1 ml/dakika'ya kolon sıcaklığı ise 25°C'ye ayarlandı. HPLC'de ayırma işlemi 40 dakika tamamlandı.

Vitamin B₂: B₂ vitamin analizinde Tang vd. (2006) tarafından önerilen metot modifiye edilerek kullanıldı. Mobil faz deiyonize su (%75) ile HPLC saflıkta metanol (%25) ile hazırlandı. Vitamin B₂ analizinde Shimadzu Nexera-i (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) marka HPLC ile birlikte floresans dedektör kullanıldı. Floresans dedektör eksitasyon 445 nm'ye, emisyon ise 525 nm'ye ayarlandı. Vitamin B₂'nin serbest formu olan riboflavin'i ayırma işleminde Gemini-NX 5µ C18 110 Å, 4.6 x 250 mm (Phenomenex, CA, USA) kolon kullanıldı. Akış hızı 1 ml/dakika'ya kolon sıcaklığı ise 25°C'ye ayarlandı. HPLC'de ayırma işlemi 20 dakika tamamlandı.

Vitamin B₁: Vitamin B₁ analizinde vd. (2006) tarafından önerilen metot modifiye edilerek kullanıldı. Analizde ilk önce kolon öncesi türevlendirme işlemi yapıldı. Vitamin B₁'in serbest formu olan tiyamin molekül yapısı itibariyle floresans dedektörde tespit edilemez. Bu nedenle tiyamin ilk önce floresans türevi olan tiokroma potasyum ferrisiyanid çözeltisi ile dönüştürülür. Bu aşamada ilk önce %1'lik ferrisiyanid çözeltisi %15'lik sodyum hidroksit çözeltisi içinde hazırlandı. Ekstraksiyon aşamasında hazırlanan örnekten 20 ml alındı ve üzerine 1.5 ml %1'lik ferrisiyanid çözeltisinden ilave edildi ve pH'ı 7.1'e orta fosforik asit çözeltisi ile ayarlandı. Aynı şekilde tiyamin standartlarında %1'lik ferrisiyanid çözeltisi ile türevlendirildi ve pH'ı 7.1'e orta fosforik asit çözeltisi ile ayarlandı. B₁ vitamin analizinde Shimadzu Nexera-i (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) marka HPLC ile birlikte floresans dedektör kullanıldı. Floresans dedektör eksitasyon 366 nm'ye, emisyon ise 445 nm'ye ayarlandı. Tiokrom formuna dönüştürülen vitamin B₁'i ayırma işleminde Gemini-NX 5µ

C18 110 Å, 4.6 x 250 mm (Phenomenex, CA, USA) kolon kullanıldı. Akış hızı 1 ml/dakika'ya kolon sıcaklığı ise 25°C'ye ayarlandı. HPLC'de ayırla işlemi 20 dakika tamamlandı.

2.1.3. İn vitro Biyoerişilebilirlik Analizi

Çalışma kapsamındaki ekmeklerde doğal olarak bulunan B₁, B₂ ve B₆ vitaminlerinin biyoerişilebilirliği in vitro ortamda insan sindirim sistemi simüle edilerek belirlendi. İn vitro analizde Lee vd. (2016) tarafından önerilen yöntem kullanıldı. Bu kapsamda ağız, mide ve ince bağırsak solüsyonları hazırlandı.

Ağız: Sırası ile sodyum klorür (175.3 g / L) ve üre (25 g / L), çözeltileri hazırlandı. Sodyum klorür çözeltisinden 1.7 ml, üre çözeltisinden ise 8 ml alındı ve 500 ml'lik erlen içine konuldu ve 400 ml deiyonize su ilave edildi. Hazırlanan bu karışıma 15 g ürik asit, 280 mg a-amilaz ve 25 mg müsün ilave edildi ve hacim 500 ml'ye tamamlandı. Çözeltisinin pH'ı 6.8 ile 7.0 arasına 1M HCl ya da 1 M NaOH ile ayarlandı.

Mide: Sıra ile HCl (37 g/L) ve CaCl₂·H₂O (22 g / L) çözeltileri hazırlandı. HCl çözeltisinden 6.5 ml, CaCl₂·H₂O çözeltisinden 18 alındı ve hacmi 500 ml'ye deiyonize su ile tamamlandı. Daha sonra üzerine 1 g sığır serum albumin, 2.5 g pepsin, ve 3 g mucin ilave edildi ve çözündürüldü. Çözeltinin pH'ı 1.5'e 1M HCl ya da 1 M NaOH ile ayarlandı.

İnce Bağırsak: Sıra ile KCl (89.6 g g/L) ile CaCl₂·2H₂O (22.2 g/L) çözeltileri hazırlandı. KCl çözeltisinden 6.3 ml, CaCl₂·2H₂O çözeltisinde ise 9 ml alındı ve deiyonize su ile hacmi 500 ml'ye tamamlandı. Daha sonra üzerine, 1 g sığır albümin, 1.5 lipaz ve 1 g pankreatin ilave edildi ve çözündürüldü. Çözeltinin pH'ı 8 'e 1M HCl ya da 1 M NaOH ile ayarlandı.

Safra sıvısı: Sıra ile NaHCO₃ (84.7 g g/L) ile CaCl₂·2H₂O (22.2 g/L) çözeltileri hazırlandı. NaHCO₃ çözeltisinden 68.3 mL, CaCl₂·2H₂O çözeltisinden 10 alındı ve üzerine 400 ml deiyonize su ilave edildi. Daha sonra 1.8 g sığır albümini ve 30 g safra ilave edildi ve çözündürüldü. Hacim 500 ml'ye tamamlandı ve pH 7.0 'ye 1M HCl ya da 1 M NaOH ile ayarlandı.

İN VITRO SINDİRİM

5 g homojen edilmiş ekmek 100 ml beher içinde alındı ve üzerine ağız solüsyonundan 5 ml ilave edildi. Ağız solüsyonunun tam olarak ekmek ile karışması için vorteks ile iyice karıştırıldı. Karışım çalkalamalı su banyosunda 5 dakika süre ile 37 °C inkübe edildi. Bu aşamadan sonra mide solüsyonundan 12 ml eklendi ve vorteks ile iyice karıştırıldı. Mide ortamında 2 saat süre 37 °C'de inkübe edildi. Daha sonra ince bağırsak ortamı için ilk önce 5 ml safra sıvısı ilave edildi ve ortamın pH'ı 7.0'a ayarlandı. Üzerine ince bağırsak sıvısından 10 ml ilave edildi ve 2 saat süre ile 37 °C'de çalkalamalı su banyosunda inkübe edildi. İn vitro sindirim tamamlandıktan sonra ortamın pH'ı 4.5'e 1 M HCl çözeltisi ile ayarlandı. Üzerine 5 ml 0.1 M'lık sodyum asetat tamponundan ilave edildi ve son hacim 50 ml'ye deiyonize su ile tamamlandı. Daha sonra 50 ml'lik falkon tüp içine alındı ve 8000 rpm'de 5 dakika süre santrifüj edildi. Santifüj edilen sıvıdan 20 ml alındı ve üzerine 10 mg asit fosfataz ve 5 mg beta-glikozidaz enzimlerinden ilave edildi. B₁ ve B₂ vitaminleri için 3 saat süre ile, B₆ vitamini için ise 18 saat süre ile inkübe edildi. Bu aşamadan sonra yukarıda her bir vitamin için belirtilen analiz yöntemleri uygulandı.

2.1.4. Miktar Tayini ve Kalite Kontrol

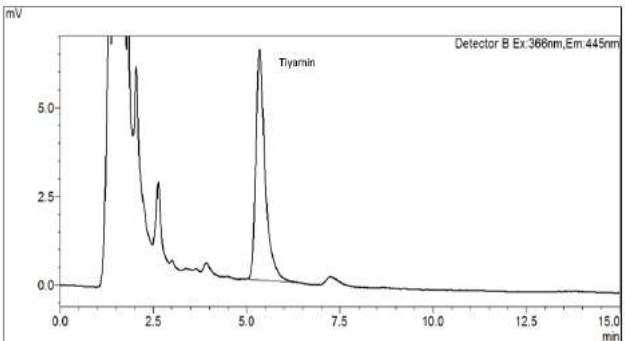
Miktar tayini HPLC'de örnek altında kalan alanın uygun standart konsantrasyonun alanına oranlaması ile hesaplandı.

2.1.5. İstatistiksel Analizler

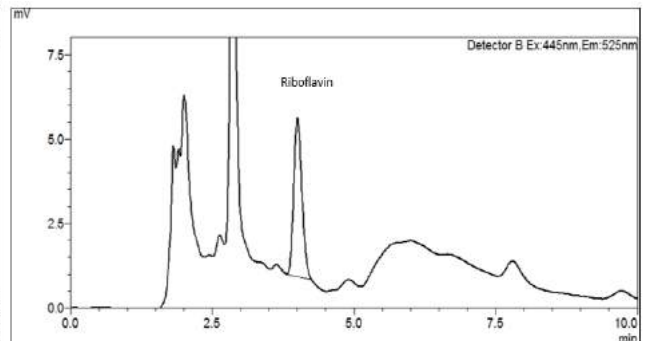
Her bir çalışma üç kez tekrar edildi ve standart sapması hesaplandı. Standart sapmayı belirlemede ANOVA Tukey's (p < 0.05) testi uygulandı.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

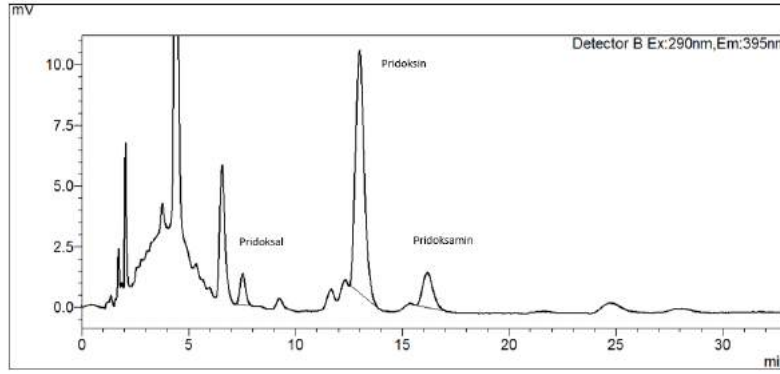
Yulaflı ekmekte Tiyamin, Riboflavin ve B₆ vitamininin formlarına ait HPLC kromatogramlar şekil, 1, 2 ve 3'te gösterilmiştir.



Şekil.1 B₁ vitamini HPLC Kromotogram



Şekil.2 B₂ vitamini HPLC Kromotogram



Şekil.3 B₆ vitamini (Pridoksin, Pridoksal, Pridoksamin) HPLC Kromotogramı

3.1. Ekmeklerde Vitamin B₁, B₂ ve B₆ miktarları;

Ekmeklerde vitamin B₁, B₂ ve B₆ miktarları Tablo 1, 2, 3 ve 4'de gösterilmiştir. B₁ vitamini en yüksek beyaz ekmekte 124±7 bulunurken en düşük yulaflı ekmekte 30±3 mg/100 g bulunmuştur. B₂ vitamini ise en yüksek tam buğday ekmeğinde 72±5 mg/100 g olarak bulunurken en az kepekli ekmekte 37±4 mg/100 g olarak bulunmuştur. B₁ vitamini sonuçlarımız Ulusal Gıda Kompozisyonu Veri Tabanı (TURKOMP)'a göre karşılaştırdığımızda her üç ekmek türünde de düşük bulunmuştur. TURKOMP'da en yüksek B₁ vitamini yulaflı ekmekte 204 µg /100 g iken en düşük tam buğday ekmeğinde 148 µg /100 olarak belirtilmiştir. B₂ vitamini sonuçlarımız TURKOMP'a göre karşılaştırıldığında sadece tam buğday ekmeği dışında sonuçlarımız düşük olarak bulundu. TURKOMP'da en yüksek B₆ vitamini beyaz ekmekte 104 µg /100 g olarak belirtilmiştir. B₆ vitamini sonuçlarımız TURKOMP'a göre karşılaştırıldığında vitamin B₁ ve B₂'den farklı olarak tüm ekmek türlerinde sonuçlarımız yüksek olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, ekmek türlerindeki vitamin B₁ ve B₂ sonuçlarımız TURKOMP'a göre genel olarak düşük bulunurken B₆ vitamini sonucumuz ise yüksek olarak bulunmuştur.

3.2. İn Vitro Sindirim Sonuçları

Tablo 1'de görüldüğü gibi beyaz ekmekte B₁ vitamininin biyoerişilebilirliği %71±3, tam buğday ekmeğinde %62±2, kepekli ekmekte %68±2 ve yulaflı ekmekte ise %45±7 olarak bulunmuştur. İstatiksel olarak değerlendirildiğinde en düşük biyoerişilebilirlik yulaflı ekmekte bulundu. Diğer ekmek türlerinde ise istatistiksel olarak birbirine benzer sonuçlar elde edildi. Tablo 1'de görüldüğü gibi beyaz ekmekte B₂ vitaminini biyoerişilebilirliği %75±1, tam buğday ekmeğinde %66±0, kepekli ekmekte %70±3 ve yulaflı ekmekte ise %56±3 olarak bulunmuştur. İstatiksel olarak değerlendirildiğinde en düşük biyoerişilebilirlik B₁ vitamininde de olduğu gibi yulaflı ekmekte bulunurken en yüksek biyoerişilebilirlik ise beyaz ekmekte bulunmuştur. Vitamin B₆ gıdalarda serbest olarak PL, PN ve PM formları şeklinde bulunduğundan her bir formun biyoerişilebilirliği ayrı olarak değerlendirilmiştir. Beyaz ekmekte PL formunun biyoerişilebilirliği %21±5, tam buğday ekmeğinde %28±5, kepekli ekmekte %33±9 ve yulaflı ekmekte ise %17±5 olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi en düşük biyoerişilebilirlik yulaflı ekmekte bulunurken en yüksek ise istatistiksel olarak tam buğday ve kepekli ekmekte bulundu. Tahıl ürünlerinde B₆ vitamininin en çok PN formu bulunmaktadır. PN formunun biyoerişilebilirliği beyaz ekmekte %72±1, tam buğday ekmeğinde %75±1, kepekli ekmekte %82±2 ve yulaflı ekmekte ise %63±1 olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi en yüksek biyoerişilebilirlik kepekli ekmekte bulunurken en düşük yulaflı ekmekte bulundu. Tahıl ürünlerinde daha az bulunan bir diğer form ise PM'nin biyoerişilebilirliği beyaz ekmekte %29±6, tam buğday ekmeğinde %29±5, kepekli ekmekte %36±6 ve yulaflı ekmekte ise %23±6 olarak bulundu. Görüldüğü gibi en yüksek biyoerişilebilirlik kepekli ekmekte bulunurken en düşük ise yulaflı ekmekte bulundu. Toplam B₆ vitamininin biyoerişilebilirliği değerlendirildiğinde en yüksek kepekli ekmekte bulunurken en düşük yulaflı ekmekte bulundu (Tablo.3 ve Tablo.4).

Tablo.1 Farklı ekmek çeşitlerinde vitamin B₁ ve B₂ miktarları ve in vitro Biyoerişilebilirlik değerleri

Ürün Adı	Vitamin B ₁ (µg/100g)		Biyoerişilebilirlik (%)	Vitamin B ₂ (µg/100g)		Biyoerişilebilirlik (%)
	Başlangıç	Sindirim sonrası		Başlangıç	Sindirim sonrası	
Beyaz Ekmek	124±7a	88±4b	71±3	42±4a	32±3b	75±1
Tam Buğday	86±4a	62±2b	73±5	72±5a	48±3b	66±0
Kepekli	121±4a	82±4b	68±2	37±4a	26±3b	70±3
Yulaflı	30±3a	14±1b	45±7	44±3a	25±3b	56±3

Aynı satırdaki farklı harfler uygulamalar arasında istatistiksel fark olduğunu gösterir (ANOVA p <0.05, Tukey testi)

Tablo.2 Farklı ekmecek çeşitlerinde Pridoksal ve Pridoksin ($\mu\text{g}/100\text{ g}$) miktarları ve in vitro Biyoerişilebilirlik değerleri

Ürün Adı	Pridoksal ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)		Biyoerişilebilirlik (%)	Pridoksin ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)		Biyoerişilebilirlik (%)
	Başlangıç	Sindirim sonrası		Başlangıç	Sindirim sonrası	
Beyaz Ekmek	27 \pm 3a	6 \pm 2b	21 \pm 5	173 \pm 7a	125 \pm 4b	72 \pm 1
Tam Buğday	42 \pm 3a	12 \pm 3b	28 \pm 5	289 \pm 6a	216 \pm 5b	75 \pm 1
Kepekli	18 \pm 3a	6 \pm 3b	33 \pm 9	86 \pm 4a	70 \pm 5b	82 \pm 2
Yulafli	19 \pm 3a	3 \pm 2b	17 \pm 5	241 \pm 5a	152 \pm 5b	63 \pm 1

Aynı satırdaki farklı harfler uygulamalar arasında istatistiksel fark olduğunu gösterir (ANOVA $p < 0.05$, Tukey testi).

Tablo.3 Farklı ekmecek çeşitlerinde Pridoksamin miktarları ve in vitro Biyoerişilebilirlik değerleri

Ürün Adı	Pridoksamin ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)		Biyoerişilebilirlik (%)
	Başlangıç	Sindirim sonrası	
Beyaz Ekmek	37 \pm 3a	11 \pm 3b	29 \pm 6
Tam Buğday	57 \pm 4a	17 \pm 4b	29 \pm 5
Kepekli	24 \pm 4a	9 \pm 3b	36 \pm 6
Yulafli	27 \pm 3a	6 \pm 2b	23 \pm 6

Aynı satırdaki farklı harfler uygulamalar arasında istatistiksel fark olduğunu gösterir (ANOVA $p < 0.05$, Tukey testi).

Tablo.4 Farklı ekmecek çeşitlerinde toplam vitamin B₆ miktarları ve in vitro Biyoerişilebilirlik değerleri

Ürün Adı	Vitamin B ₆ ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)		Biyoerişilebilirlik (%)
	Başlangıç	Sindirim sonrası	
Beyaz Ekmek	237 \pm 13a	141 \pm 9b	60 \pm 1
Tam Buğday	387 \pm 13a	244 \pm 12b	63 \pm 1
Kepekli	127 \pm 11a	85 \pm 11b	67 \pm 3
Yulafli	287 \pm 11a	162 \pm 9b	56 \pm 1

Aynı satırdaki farklı harfler (PL, PN, PM) uygulamalar arasında istatistiksel fark olduğunu gösterir (ANOVA $p < 0.05$, Tukey testi).

Bu çalışmada beyaz, tam buğday, kepekli ve yulafli ekmekte bulunan B₁, B₂ ve B₆ vitaminlerinin biyoerişilebilirliği in vitro ortamda incelendi. B₁ vitamininin biyoerişilebilirliği %45 ile %73 arasında bulunurken B₂ vitaminini biyoerişilebilirliği %56 ile %75 arasında bulundu (Tablo.1 ve Tablo.2). Vitamin B₁ özellikle ısı işlemlerden stabilitesi etkilenmektedir (Eittenmiller vd. (2008)). İn vitro olarak oluşturduğumuz ortamın sıcaklığı 37 °C olduğu için B₁ vitamininin biyoerişilebilirliğinin etkilediği düşünülmektedir. Bunun yanında B₁ ve B₂ vitaminlerinin maksimum stabilitesi pH 2 ile 4 arasındadır (Eittenmiller vd. (2008)). İn vitro ince bağırsak ortamının pH'ı 7 olduğundan her iki vitamininde bu pH'dan etkilendiği ve biyoerişilebilirliğinin azaldığı düşünülmektedir. Ekmekler belirli miktarda diyet lif içermektedir. Özellikle tam, kepekli ve yulafli ekmekte yüksek miktarda diyet lif vardır. Kurek vd. (2017)'de yapmış oldukları çalışmada ekmeklere diyet lif ilavesinin biyoerişilebilirlik seviyesini azalttığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada B₁ vitamininin biyoerişilebilirliği %69.1 ile %91.2 arasında iken B₂ vitamininin biyoerişilebilirliği ise %40.9 ile %91.2 olarak bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda da görüldüğü gibi benzer şekilde biyoerişilebilirlik düşük olarak bulunmuştur. Bunun yanında vitamin B₁ ve B₂'nin formları kovalent olmayan bağlarla proteinlere bağlı olarak bulunabilmektedir (Ball, 2004; 2006). İn vitro gastrointestinal sistemde alkali ortamda proteinlerin denatürasyonu daha az olabilmektedir (Arkbage vd. 2003). Bu da bu vitaminlerin formlarının daha az serbest hale gelmesine neden olmaktadır (Yaman vd. 2019). Dolayısıyla bu durum düşük biyoerişilebilirliğe neden olabilmektedir.

Vitamin B₆'nın PN formu hem pH hem de sıcaklık değişimlerine karşı PL ve PM formlarına göre daha dayanıklı olduğu bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada vitamin B₆'nın PLP formunun stabilitesinin pH 4 ile 5 arasında %20'ye kadar düştüğü

bildirilmiştir (Ball, 2006). Bizim örneklerimizde de PN formunun biyoerişilebilirliği PM ve PL formlarına göre daha yüksek bulunmuştur. Bunun yanında vitamin B₆'nın formları vitamin B₁ ve B₂'de olduğu gibi kovalent olmayan bağlarla proteinlere bağlı olarak bulunabilmektedir (Ball, 2006). Özellikle proteinlere bağlı halde bulunan bu formların tam olarak serbest hale geçemediği ve biyoerişilebilirliğinin etkilendiği düşünülmektedir. İn vitro gastrointestinal sistemde alkali ortamda proteinlerin denatürasyonu daha az olabilmektedir ((Arkbage vd. 2003). Bu da B₆ vitamininin formlarının daha az serbest hale geçmesine neden olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu durum düşük B₆ vitamini biyoerişilebilirliğine neden olabilmektedir.

Kurek vd. (2017)'de yapmış olduğu çalışmada diyet lif ilavesinin vitamin B₆'nın PN formunun biyoerişilebilirliğini %34'e kadar düşürdüğünü belirtmiştir. Beta gluklan özellikle yulaf ve arpada bulunan suda çözünebilen bir diyet lifidir. Beta gluklan özellikle gıdaların glisemik indeksi ve kan kolesterol düzeyinin düşürülmesinde etkilidir (Wang vd. 2014). Fakat bu diyet lif vitamin ve mineral gibi önemli besin öğelerinde biyoerişilebilirliğini azalttığı düşünülmektedir. Dolayısıyla yulaf içeren ekmeklerin biyoerişilebilirliği diğer ekmeklere göre daha düşük olarak bulunmuştur.

4. Sonuç

Bu çalışmadaki B₁, B₂ ve B₆ vitaminlerinin biyoerişilebilirliği genel olarak incelendiğinde en düşük B₆ vitamininin pridoksal ve pridoksamin formlarında olduğu görülmüştür. Fakat ekmek çeşitlerinde B₆ vitamininin pridoksin formu daha baskındır. Toplam B₆ vitamininin biyoerişilebilirliğine bakıldığında %56 ile %67 arasında değişmektedir. Temel beslenmemizde buğdaydan yapılan tahıl ürünleri yer almaktadır. Fakat tahıl ürünlerinin ısı işlemi sonucunda B grup vitaminlerinde önemli ölçüde kayıplar olmaktadır. Bunun yanında biyoerişilebilirlikte göz önüne alındığında tahıl ürünlerinden almış olduğumuz B grup vitaminlerinin seviyeleri düşüktür. Ekmek temel beslenmemizde önemli bir yere sahiptir ve günlük enerji ihtiyacımızın büyük kısmını yine ekmekten karşılamaktayız. Sonuçları genel olarak değerlendirdiğimizde ekmekten almış olduğumuz B grup vitamininin seviyeleri düşüktür. Bunun yanında yulaf içeren ekmeklerin biyoerişilebilirliği diğer ekmek türlerine göre daha düşük bulunmuştur. Sonuç olarak ekmekten almış olduğumuz B grup vitaminlerinin seviyeleri günlük enerji ihtiyacımız ile bir paralellik göstermemektedir. Dolayısıyla günlük beslenmemizde ekmeğin yanında B grup vitamin yönünden zengin besinler tüketilebilir.

Kaynakça

- [1] Arkbage, K., Verwei, M., Havenaar, R., & Witthöft, C. (2003). Bioaccessibility of folic acid and (6 S)-5-methyltetrahydrofolate decreases after the addition of folate-binding protein to yogurt as studied in a dynamic in vitro gastrointestinal model. *The Journal of nutrition*, 133(11), 3678-3683.
- [2] Arslan, P., Mercanlıgil, S., Gökmen Özel, H., Çıtak Akbulut, G., Dönmez, N., & Çiftçi, H. (2006). Nutritional habits and nutritional patterns of participants of the Turkish Adult Risk Factor Survey 2003-2004. *Archives of the Turkish Society of Cardiology*, 34(6), 331-339.
- [3] Ball, G.F.M. (2006). Analysis, Bioavailability, and Stability, Second Edition, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 189-205.
- [4] Eittenmiller, R.R., Lin, Y.W.O., Landen, Jr. (2008) Vitamin B₁, B₂, B₃, Vitamin analysis for food the health and food sciences, Second Ed. CRC Press, New York, 471-488.
- [5] Food, & Nutrition Board. (1998). Dietary reference intakes: a risk assessment model for establishing upper intake levels for nutrients. National Academies Press.
- [6] G.F.M. Ball. (2004) Vitamin B₁, B₂, B₃, Vitamins: Their Role in the Human Body. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, 273-309.
- [7] Hur, S. J., Lim, B. O., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2011). In vitro human digestion models for food applications. *Food Chemistry*, 125(1), 1-12.
- [8] Kall, M. A. (2003). Determination of total vitamin B₆ in foods by isocratic HPLC: a comparison with microbiological analysis. *Food Chemistry*, 82(2), 315-327.
- [9] Köseoğlu, S. Z. A. (2019). A comparison of blood glucose and insulin responses in subjects with non-insulin dependent diabetes mellitus consuming potato alone, and potato with sunflower oil. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 440-449.
- [10] Kurek, M. A., Wyrwicz, J., Karp, S., & Wierzbicka, A. (2017). Particle size of dietary fiber preparation affects the bioaccessibility of selected vitamin B in fortified wheat bread. *Journal of cereal science*, 77, 166-171.
- [11] Lee, S. J., Lee, S. Y., Chung, M. S., & Hur, S. J. (2016). Development of novel in vitro human digestion systems for screening the bioavailability and digestibility of foods. *Journal of Functional Foods*, 22, 113-121.
- [12] Magaletta, R. L., DiCataldo, S. N., Liu, D., Li, H. L., Borwankar, R. P., & Martini, M. C. (2010). In vitro method for predicting glycemic index of foods using simulated digestion and an artificial neural network. *Cereal chemistry*, 87(4), 363-369.
- [13] Ndaw, S., Bergaentzle, M., Aoude-Werner, D., & Hasselmann, C. (2000). Extraction procedures for the liquid chromatographic determination of thiamin, riboflavin and vitamin B₆ in foodstuffs. *Food Chemistry*, 71(1), 129-138.
- [14] Tang, X., Cronin, D. A., & Brunton, N. P. (2006). A simplified approach to the determination of thiamine and riboflavin in meats using reverse phase HPLC. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(8), 831-837.
- [15] Turkomp .2019. www.turkomp.gov.tr, erişim tarihi 01.07.2019
- [16] TZOB, (2012) Kalori Tüketiminde Türkiye 15'inci. Yayın No: Kasım-2012, 2012: p. 44 Ankara.
- [17] Ünalsan, R., (1994) Household Food Consumption Expenditure (TC, DİE 1994 Hane Halkı Tüketim Harcamaları Anketi Sonuçlarından) [Master of Science Thesis]. Middle East Technical University, Department of Food Engineering.
- [18] Van den Berg, H., van der Gaag, M., & Hendriks, H. (2002). Influence of lifestyle on vitamin bioavailability. *International journal for vitamin and nutrition research*, 72(1), 53-59.

- [19] Wang, Q., & Ellis, P. R. (2014). Oat β -glucan: physico-chemical characteristics in relation to its blood-glucose and cholesterol-lowering properties. *British Journal of Nutrition*, 112(2), 4-13.
- [20] Yaman, M., Mızrak, Ö. F., Çatak, J., & Sargın, H. S. (2019). In vitro bioaccessibility of added folic acid in commercially available baby foods formulated with milk and milk products. *Food Science and Biotechnology*, 1-8.



Türkiye'deki Pasif Kızılötesi Sensörlü Aydınlatma Armatürlerinin Işıksal ve Elektriksel Performanslarının Değerlendirilmesi

Oğuz Olgun^{1*}, İsmail Nakir²

^{1,2} Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul-Türkiye (ORCID: 0000-0002-7745-1673, 0000-0002-7051-1733)

(İlk Geliş Tarihi 18 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 25 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.579306)

ATIF/REFERENCE: Olgun, O. & Nakir, İ. (2019). Türkiye'deki Pasif Kızılötesi Sensörlü Aydınlatma Armatürlerinin Işıksal ve Elektriksel Performanslarının Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 765-775.

Öz

Pasif infrared (PIR) sensörlü armatürler PIR sensör ve armatürün kombine şeklidir. Genellikle ülkemizde, küçük ölçekli projelerin merdiven boşluğu ve antre gibi yerlerinde kullanılmaktadırlar. Bu sensörler, insanlar bu mahallere girince aydınlatmanın devreye girmesi ve insanlar mahalden ayrıldıktan sonra aydınlatmanın kapatılması amacıyla kullanılırlar. E27 duylu ve LED çipli olmak üzere iki farklı armatür tipi mevcuttur. Bu çalışmada, her iki tipteki PIR sensörlü armatürlerin detaylı ışıksal ve elektriksel analizleri yapılmıştır. E27 duylu armatür analizlerinde halojen ve LED lamba olmak üzere farklı ışık kaynağı kullanılmıştır. Ayrıca, kullanılan ışık kaynaklarının da detaylı analizleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular çerçevesinde armatürlerin ekonomik analizleri değerlendirilmiş ve sonuç olarak en efektif armatür ve armatür/ışık kaynağı konfigürasyonu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: PIR sensör, armatür, LED lamba, halojen lamba.

Optical and Electrical Evaluation of Passive Infrared Sensor Equipped Lighting Fixtures in Turkey

Passive infrared (PIR) sensor equipped lighting fixtures are combination of a PIR sensor and a lighting fixture. They are generally used at staircase and entrance areas of small-scale projects in our country. These PIR sensors are used to activate the lighting when any person enters the zones and turn off the lighting after the person leaves. There are two different types of fixtures, i.e. LED chipped luminaire and E27 lamp-based luminaire. In this work, detailed optical and electrical analyses have been performed for both types of fixtures. Various types of light sources including halogen and LED bulbs have been used in the analysis of E27 lamp-based fixtures. In addition, the analyses of these light sources have also been performed in detail. As a result, economic performance of the luminaires were compared based on the analyzed data and the most effective luminaire as well as luminaire/bulb configurations were determined.

Key words: PIR sensor, lighting fixture, LED lamp, halogen lamp.

¹ Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul-Türkiye, ORCID: 0000-0002-7745-, oguzolgun61@gmail.com

1. Giriş

Özellikle yeni nesil aydınlatma armatürleri ve aydınlatma ekipmanları ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. LED, kompakt floresan, floresan ve enkandesan ışık kaynaklarının detaylı analizleri Hasan vd. tarafından yapılmıştır (Hasan vd., 2017). Bu çalışmada yapılan analiz sonuçlarına göre en yüksek etkinlik değeri LED ışık kaynaklarıyla elde edilmiştir. Ayrıca, enkandesan ışık kaynaklarının daha yüksek güç faktörü değerine sahip olduğu ve LED lambaların toplam harmonik distorsiyonu (THD) değerlerinin floresan ve enkandesan ışık kaynaklarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu lambaların yüksek güç tüketim değerleri sebebiyle LED lambaya karşı seçilecek birer alternatif olmadıkları görülmektedir. Ayrıca LED lambaların güç faktörü ve THD değerlerinin kabul edilebilir seviyelerde yer aldığı yine aynı çalışma ile tespit edilmiştir.

Retrofit (yenileme) uygulamaları için tasarlanan LED lamba ve LED tüplerin enerji kalitelerinin Brezilya standartlarına uygunluğu Oliveira vd. tarafından incelenmiştir (Oliveira vd., 2016). İnceleme sonuçlarına göre LED lambaların standartlar çerçevesinde olduğu, LED tüplerin ise standartlara uymadığı tespit edilmiştir.

Enkandesan lamba kullanılan bir armatüre LED ve kompakt floresan lamba (CFL) retrofitlerinin uygulanması ile elde edilen sonuçlar Raditschova ve Gasparovsky tarafından incelenmiştir (Raditschova ve Gasparovsky, 2016). Elde edilen sonuçlara göre LED retrofitin başarılı olduğu, CFL retrofitin ise istenen aydınlatma performansını yakalayamadığı tespit edilmiştir.

LED retrofit ile elde edilecek tasarruf miktarı İtalya'daki bir alışveriş merkezi projesi üzerine kurgulanarak sonuçlar incelenmiştir (Raimondi vd., 2018). Bu çalışma ile LED retrofit uygulamasının uygulama maliyetini 5 yıldan kısa bir sürede amorti ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca retrofite ilave olarak alışveriş merkezi aydınlatma sistemine otomasyon sistemi akuple edilmiştir. İlave edilen otomasyon sisteminin de 5 yıldan kısa bir sürede yatırım maliyetini amorti ettiği tespit edilmiştir.

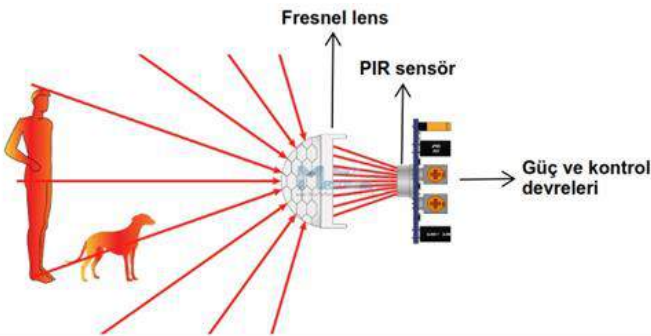
Alternatifli bir retrofit senaryosu ise bir yönetim binası projesi üzerine kurgulanmıştır (Oleksijs ve Sauhata, 2016). Bu çalışmada, 15 yıllık süre ve sadece mesai saatlerinde armatürlerin çalışması dikkate alınarak mevcut lambaların sadece LED retrofiti, mevcut lambaların sadece PIR sensörler ile kontrolü veya üçüncü seçenek olarak LED retrofit ve PIR sensörün birlikte uygulanması seçenekleri kurgulanmıştır. Yapılan incelemelerde en efektif çözümün LED retrofit olduğu ve bunu LED retrofit ve PIR sensör uygulamasının beraber uygulandığı sistemin izlediği tespit edilmiştir. Mevcut lambaların PIR sensörlerle kontrolü seçeneğinin ise en az ekonomik olan çözüm olduğu sonucuna varılmıştır.

PIR sensörlü armatürler bekleme anında 1 ile 3 watt (W) arasında enerji tüketmektedirler. Armatürlere ultrakapasitör ve basit ilave devreler eklenerek bekleme anındaki enerji tüketimi 0,004W'a kadar düşürülmüştür (Tsai vd., 2011). Bir diğer çalışmada ise çeşitli optimizasyonlarla bekleme anındaki tüketim 0,001W'a çekilmiş ve armatüre eklenen fotovoltaiik dizi ile 150 lüks (lx) aydınlık düzeyinde armatürün tüketimi 0W'a indirilerek bekleme anındaki enerji tüketimi tamamen ortadan kaldırılmıştır (Tsai vd., 2013).

Literatürde yer alan bu çalışmalar değişik ışık kaynaklarının incelenmesi, enkandesan lamba kullanan armatürlere LED retrofit uygulamaları ve PIR sensörlü armatürlerin efektif hale getirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak mevcut PIR sensörlü armatürlerin detaylı analizleri ile bu armatürlere yapılmış bir retrofit çalışmasına literatürde henüz yer verilmemiştir. Bu çalışmada ülkemizde bulunan PIR sensörlü armatürlerin detaylı ışıksal ve elektriksel incelemesi yapılmıştır. İncelenen armatürler kendinden led çipli ve E27 duylu olmak üzere iki farklı tiptedir. E27 duylu tipler hem halojen hem de LED lambalar kullanılarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucu retrofit uygulamalarının efektiflik durumunun da ortaya konması amaçlanmıştır. İncelemelerin temel amacı en efektif PIR sensörlü armatür ve armatür/ışık kaynağı kombinasyonunun tespit edilmesidir.

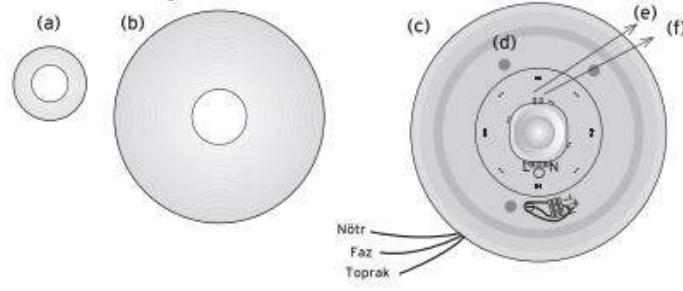
2. PIR Sensörlü Armatürler

PIR sensör kızılötesi ışınımı algılamaya yarayan sensör çeşididir. İnsan vücudu yaklaşık 100W'lık kızılötesi ışınım yayar. PIR sensör bu ışınımı algılayarak dijital çıkış verir (Juntunen vd., 2018). PIR sensör; sensör, güç ve kontrol devreleri ile fresnel lensten oluşmaktadır. Fresnel lens, algılanan kızılötesi ışınımın sensöre odaklanarak sensörün daha hassas ve daha geniş algılama mesafesine ulaşmasını sağlar. Algılama yapıldığı zaman kontrol devresi dijital çıkış verir. PIR sensörün temel yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



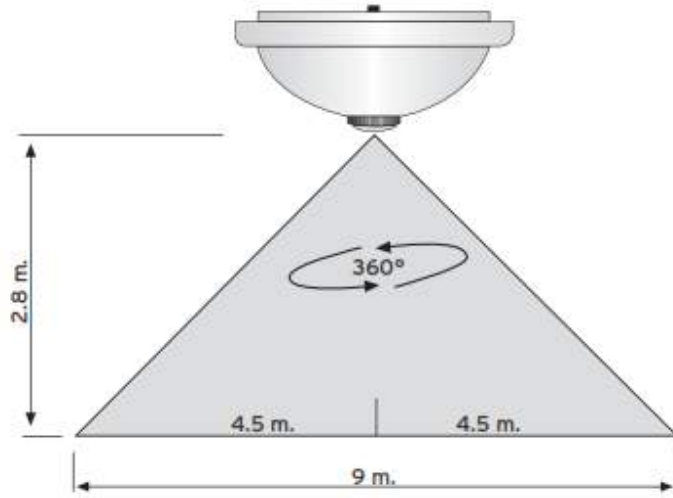
Şekil 1. PIR sensörün yapısı

PIR sensörlü armatür PIR sensör ve aydınlatma armatürünün biraraya gelmesinden oluşmaktadır. PIR sensör kızılötesi algılama yaptığı zaman dijital çıkış verir ve armatür ışık vermeye başlar. Genelde aydınlatma anahtarı kullanımının zahmetli olduğu merdiven boşlukları, uzun koridorlar ve antre gibi yerlerde kullanılırlar. PIR sensörlü armatürün yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.



(a) Tuturma rondelası, (b) Cam kapak, (c) Ana gövde, (d) Tavan montaj delikleri, (e) Gün ışığı ayar trimpotu, (f) Zaman ayar trimpotu
Şekil 2. PIR sensörlü armatürün yapısı

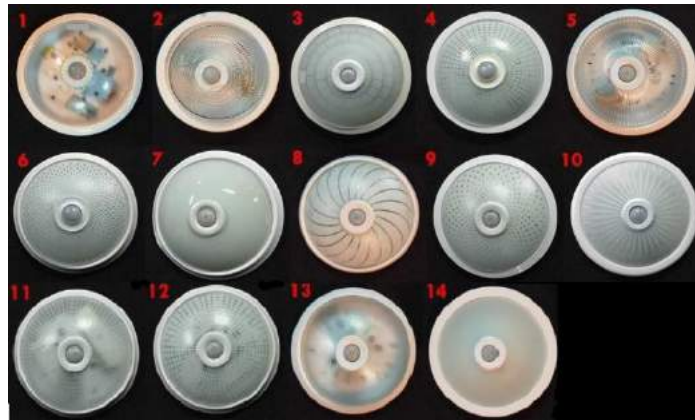
Armatürler dairesel tiptedir. Tuturma rondelası çevirilip çıkarıldıktan sonra cam kapağın sökülmesi ile armatüre müdahale edilebilmektedir. PIR sensör armatürün ortasında yer almaktadır ve 360° algılama yapabilmektedir. Sensörde ayrıca gün ışığı ve zaman ayarı yer almaktadır. Gün ışığı ayarı gündüze alındığında PIR sensör gece veya gündüz algılama yaptığı zaman armatür ışık vermektedir. Gün ışığı ayarı gece konumundayken PIR sensör gündüz algılama yaptığı zaman armatür ışık vermemekte; sadece gece yapılan algılamalarda ışık vermektedir. Zaman ayarı armatürün (üreticiye göre değişmekle birlikte) 10 saniye ile 5 dakika arasındaki ışık verme süresini ayarlamaya yaramaktadır. Armatürün montaj detayı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. PIR sensörlü armatürün montaj detayı

Armatürler sıva üstü montaja uygundur. Yaklaşık montaj yüksekliği 3 metredir. Algılama kapsamı da yaklaşık 9 metre çapında dairesel bir alandır. Koruma sınıfları IP 20 olduğu için nemli yerlere ve dış mekanlara montajları uygun değildir.

Bu çalışmada Türkiye piyasasında bulunan 14 adet armatür analiz edilmiştir. Analiz edilen armatürlere ait görseller Şekil 4'te verilmiştir. Bu armatürlerden 10 tanesi (1-10 arası) 2 adet E27 duya sahiptir. Diğer 4'ü ise (11-14 arası) kendi LED çiplerine sahiptir. Armatürler sac kasalıdır. İçleri ve dışları beyaz boyalıdır. Armatürlerde reflektör yoktur. Bir kısmının camı buzlu, bir kısmının camı ise hem buzlu hem de boyalıdır.



Şekil 4. Analiz edilen armatürler

3. E27 Duyulu PIR Sensörlü Armatürlerde Kullanılan Işık Kaynakları ve Analizleri

E27 duyulu armatür analizlerinde 1 adet halojen lamba, 2 adet de LED lamba kullanılmıştır. Halojen lamba 30W, LED lambalar da sırasıyla 9,5W ve 8W güce sahiptir. Her E27 duyulu armatür bu 3 ışık kaynağı ile ayrı ayrı test edilerek sonuçlar incelenmiştir. Bu testler öncesinde ışık kaynaklarının detaylı analizleri yapılarak elde edilen bulgular armatür testlerinde kullanılmış olup, lamba ölçüm

sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Işık kaynaklarının elektriksel ve ışıksal ölçüm sonuçları

Değerlendirme Kriterleri	Lamba-1	Lamba-2	Lamba-3
Lamba Tipi	Halojen	LED	LED
Lamba Gücü (Fabrika Verisi)	30W	9,5W	8W
Ölçülen Lamba Gücü	27,61W	9,46W	7,66W
Güç Faktörü	1,00	0,54	0,58
Işık Akısı (Φ)	255,66lm	805,12lm	665,40lm
Etkinlik (Eff)	9,26lm/W	85,11lm/W	86,87lm/W
Renksel Geriverim İndeksi (CRI)	99,9	85,4	83,6
Renk Sıcaklığı (T_c)	2612K	6253K	6455K

Ölçüm sonuçlarına göre tüketilen güç, üretilen ışık akısı ve etkinlik değerleri konusunda LED lambaların halojen lambaya karşı ezici bir üstünlüğü bulunmaktadır. Güç faktörü ve renksel geriverim konularında ise halojen lamba üstündür. Ancak LED lambaların 80 üzeri olan renksel geriverim değeri gayet yeterli bir performans sergilemekte ve düşük güç faktörü konusu basit bir kompanzasyon sistemi ile çözülebilmektedir ki; oldukça düşük tüketim değerleri bu iki maddeyi de ihmal edilebilir hale getirmektedir. Renk sıcaklığı olarak LED lambalar soğuk beyaz, halojen lamba ise sıcak beyaz renkte ışık vermektedir.

4. PIR Sensörlü Armatür Analizleri

PIR sensörlü armatürlerin ışık vermedikleri bekleme anındaki elektriksel değerleri ölçülmüş olup ölçüm sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Armatürlerin bekleme anındaki elektriksel ölçüm sonuçları

No.	Armatür Cinsi	Aktif Güç (W)	Reaktif Güç (VAr)	Güç Faktörü
1	Armatür-1	1,20	7,75	0,15
2	Armatür-2	1,10	7,75	0,14
3	Armatür-3	0,85	6,60	0,13
4	Armatür-4	0,70	5,00	0,14
5	Armatür-5	0,70	4,70	0,15
6	Armatür-6	0,70	5,10	0,14
7	Armatür-7	0,80	5,50	0,14
8	Armatür-8	0,80	6,40	0,12
9	Armatür-9	0,80	6,00	0,13
10	Armatür-10	0,60	4,80	0,12
11	Armatür-11	1,00	7,00	0,14
12	Armatür-12	0,70	6,90	0,10
13	Armatür-13	1,00	6,70	0,15
14	Armatür-14	0,75	0,50	0,83

Sonuçlar incelendiğinde armatürlerin aktif güç tüketimlerinin 0.60-1.20W, reaktif güç tüketimlerinin 0.50-7.75VAr ve güç faktörlerinin 0.12-0.83 arasında olduğu tespit edilmiştir. Burada bir noktaya dikkat çekmemiz gerekiyor. Armatür-14 0,50VAr ile en düşük reaktif güç tüketimine, 0,83 ile de en yüksek güç faktörüne sahiptir. Armatür-14 dışındaki armatürlere bakacak olursak bunların reaktif güç tüketimleri 4.70-7.75VAr, güç faktörleri de 0.12-0.15 aralığındadır. Armatür-14’te şebekeden çekilen reaktif gücü sınırlayan ilave devreler kullanıldığı düşünülmektedir.

PIR sensörlü armatürlerin çalışma anındaki elektriksel değerleri de ölçülmüş olup, ölçüm sonuçları ise Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. Armatürlerin çalışma anındaki elektriksel ölçüm sonuçları

No.	Armatür Cinsi	Lamba	Aktif Güç (W)	Reaktif Güç (VAr)	Güç Faktörü
1	Armatür-1	Lamba-1	56,35	10,35	0,98
2	Armatür-1	Lamba-2	19,97	37,52	0,47
3	Armatür-1	Lamba-3	16,24	30,09	0,47
4	Armatür-2	Lamba-1	56,10	12,85	0,97
5	Armatür-2	Lamba-2	19,96	39,87	0,45
6	Armatür-2	Lamba-3	16,23	32,58	0,45
7	Armatür-3	Lamba-1	56,19	7,86	0,99
8	Armatür-3	Lamba-2	19,57	34,79	0,49
9	Armatür-3	Lamba-3	15,87	27,52	0,50
10	Armatür-4	Lamba-1	56,02	6,11	0,99
11	Armatür-4	Lamba-2	19,35	32,99	0,51
12	Armatür-4	Lamba-3	15,67	25,78	0,52
13	Armatür-5	Lamba-1	55,96	5,86	0,99
14	Armatür-5	Lamba-2	19,25	32,91	0,50
15	Armatür-5	Lamba-3	15,57	25,57	0,52
16	Armatür-6	Lamba-1	55,72	6,20	0,99
17	Armatür-6	Lamba-2	19,32	33,11	0,50
18	Armatür-6	Lamba-3	15,65	25,97	0,52
19	Armatür-7	Lamba-1	56,21	7,11	0,99
20	Armatür-7	Lamba-2	19,40	34,05	0,50
21	Armatür-7	Lamba-3	15,74	26,86	0,51
22	Armatür-8	Lamba-1	55,67	8,00	0,99
23	Armatür-8	Lamba-2	19,43	35,05	0,48
24	Armatür-8	Lamba-3	15,75	27,75	0,49
25	Armatür-9	Lamba-1	56,45	7,41	0,99
26	Armatür-9	Lamba-2	19,43	34,27	0,49
27	Armatür-9	Lamba-3	15,74	27,09	0,50
28	Armatür-10	Lamba-1	56,14	6,01	0,99
29	Armatür-10	Lamba-2	19,23	32,92	0,50
30	Armatür-10	Lamba-3	15,57	25,77	0,52
31	Armatür-11	-	7,50	14,90	0,45
32	Armatür-12	-	7,30	14,90	0,44
33	Armatür-13	-	8,00	25,30	0,30
34	Armatür-14	-	7,60	2,60	0,95

Sonuçlar incelendiğinde en düşük aktif güç tüketimine LED çipli armatürlerin sahip olduğu görülmektedir. LED çipli armatürleri aktif güç tüketiminde sırasıyla Lamba-3 kullanan, Lamba-2 kullanan ve Lamba-1 kullanan armatürler izlemektedir. Reaktif güç tüketimlerinde ise sıralama en az tüketenden en çok tüketene doğru Lamba-1 kullanan, LED çipli, Lamba-3 kullanan ve Lamba-2 kullanan armatürler şeklindedir. Güç faktörü sıralaması da büyükten küçüğe doğru Lamba-1 kullanan, Lamba-3 kullanan, Lamba-2 kullanan ve LED çipli armatürler şeklindedir. Bu değerlendirmedeki en önemli parametre aktif güç tüketimidir. Reaktif güç tüketimi ve güç faktörü basit kompanzasyon sistemleri ile kolayca çözülebilmektedir. Bu sebeple LED çipli armatürler düşük aktif güç tüketimleri ile öne çıkmaktadırlar.

PIR sensörlü armatürlerin bekleme ve çalışma anındaki toplam harmonik distorsiyonu (THD) değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Armatürlerin THD ölçüm sonuçları

No.	Armatür Cinsi	Lamba	THD Bekleme	THD Çalışma
1	Armatür-1	Lamba-1	30,60%	4,80%
2	Armatür-1	Lamba-2	30,60%	105,50%
3	Armatür-1	Lamba-3	30,60%	90,10%
4	Armatür-2	Lamba-1	29,50%	5,00%
5	Armatür-2	Lamba-2	29,50%	100,40%
6	Armatür-2	Lamba-3	29,50%	83,00%
7	Armatür-3	Lamba-1	30,50%	4,20%
8	Armatür-3	Lamba-2	30,50%	113,50%
9	Armatür-3	Lamba-3	30,50%	97,70%
10	Armatür-4	Lamba-1	29,60%	3,80%
11	Armatür-4	Lamba-2	29,60%	118,60%
12	Armatür-4	Lamba-3	29,60%	103,70%
13	Armatür-5	Lamba-1	30,10%	3,80%
14	Armatür-5	Lamba-2	30,10%	118,90%
15	Armatür-5	Lamba-3	30,10%	103,80%
16	Armatür-6	Lamba-1	30,10%	3,90%
17	Armatür-6	Lamba-2	30,10%	119,40%
18	Armatür-6	Lamba-3	30,10%	103,40%
19	Armatür-7	Lamba-1	31,10%	4,10%
20	Armatür-7	Lamba-2	31,10%	116,30%
21	Armatür-7	Lamba-3	31,10%	101,10%
22	Armatür-8	Lamba-1	30,40%	4,30%
23	Armatür-8	Lamba-2	30,40%	115,10%
24	Armatür-8	Lamba-3	30,40%	98,80%
25	Armatür-9	Lamba-1	29,50%	4,10%
26	Armatür-9	Lamba-2	29,50%	117,70%
27	Armatür-9	Lamba-3	29,50%	100,70%
28	Armatür-10	Lamba-1	28,40%	3,80%
29	Armatür-10	Lamba-2	28,40%	120,50%
30	Armatür-10	Lamba-3	28,40%	105,20%
31	Armatür-11	-	29,40%	52,20%
32	Armatür-12	-	26,10%	53,40%
33	Armatür-13	-	29,60%	26,30%
34	Armatür-14	-	123,70%	29,30%

Sonuçlar incelendiğinde bekleme anındaki THD değerlerinin armatürlerde genel olarak %30 mertebesinde olduğu tespit edilmiştir. Armatür-14 %123,70 ile bu genellemeyi bozmaktadır. Çalışma anında ise THD değerleri sıralaması küçükten büyüğe Lamba-1 kullanan, LED çipli, Lamba-3 kullanan ve Lamba-2 kullanan armatürler şeklindedir. THD sınırlarını belirleyen ulusal bir standart bulunmamaktadır. Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE, 2014) ise 1kV ve altı sistemlerde THD değerinin %8'in altında olması gerektiğini belirtmektedir. IEEE kabulü referans alındığında; bekleme durumunda tüm armatürler bu THD değerinin üzerine çıkmakta; çalışma durumunda ise sadece Lamba-1 kullanan armatürler bu değerin altında THD değerine sahip olmaktadır.

Son olarak, PIR sensörlü armatürlerin ışıksal değerleri ölçülmüş olup, ölçüm sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir. Burada birim W başına üretilen ışık akısı değeri olan etkinlik faktörü (lm/W), ışıksal ölçümlerdeki değerlendirme parametremiz olacaktır. Sonuçlar incelendiğinde düşük enerji tüketimleri ve yüksek ışık akısı vermeleri sebebiyle etkinliği en yüksek armatürler LED çipli armatürler olarak karşımıza çıkmaktadır. LED çipli armatürleri Lamba-2'den daha düşük ışık akısı üretmesine rağmen yine daha az enerji tüketerek daha verimli olan Lamba-3 kullanan armatürler izlemektedir. Lamba-3 kullanan armatürleri Lamba-2 kullanan armatürler izlemektedir. Lamba-1 kullanan armatürler ise etkinlik değeri konusunda diğer alternatiflerin epeyce gerisinde kalmaktadırlar.

Çizelge 5. Armatürlerin ışıksal ölçüm sonuçları

No.	Armatür Cinsi	Lamba	Üretilen Toplam Işık Akısı (lm)	LOR (%)	Armatürden Yayılan Işık Akısı (lm)	Etkinlik (lm/W)
1	Armatür-1	Lamba-1	511,32	68,60%	350,77	6,22
2	Armatür-1	Lamba-2	1610,24	66,40%	1069,2	53,54
3	Armatür-1	Lamba-3	1330,8	67,30%	895,63	55,15
4	Armatür-2	Lamba-1	511,32	65,60%	335,43	5,98
5	Armatür-2	Lamba-2	1610,24	64,10%	1032,16	51,71
6	Armatür-2	Lamba-3	1330,8	64,40%	857,04	52,81
7	Armatür-3	Lamba-1	511,32	42,40%	216,8	3,86
8	Armatür-3	Lamba-2	1610,24	43,20%	695,62	35,55
9	Armatür-3	Lamba-3	1330,8	44,20%	588,21	37,06
10	Armatür-4	Lamba-1	511,32	48,30%	246,97	4,41
11	Armatür-4	Lamba-2	1610,24	49,70%	800,29	41,36
12	Armatür-4	Lamba-3	1330,8	50,30%	669,39	42,72
13	Armatür-5	Lamba-1	511,32	63,00%	322,13	5,76
14	Armatür-5	Lamba-2	1610,24	62,50%	1006,4	52,28
15	Armatür-5	Lamba-3	1330,8	64,10%	853,04	54,79
16	Armatür-6	Lamba-1	511,32	50,60%	258,73	4,64
17	Armatür-6	Lamba-2	1610,24	50,90%	819,61	42,42
18	Armatür-6	Lamba-3	1330,8	52,10%	693,35	44,3
19	Armatür-7	Lamba-1	511,32	42,00%	214,75	3,82
20	Armatür-7	Lamba-2	1610,24	42,90%	690,79	35,61
21	Armatür-7	Lamba-3	1330,8	43,80%	582,89	37,03
22	Armatür-8	Lamba-1	511,32	46,80%	239,3	4,3
23	Armatür-8	Lamba-2	1610,24	46,60%	750,37	38,62
24	Armatür-8	Lamba-3	1330,8	47,20%	628,14	39,88
25	Armatür-9	Lamba-1	511,32	46,00%	235,21	4,17
26	Armatür-9	Lamba-2	1610,24	48,40%	779,36	40,11
27	Armatür-9	Lamba-3	1330,8	49,50%	658,75	41,85
28	Armatür-10	Lamba-1	511,32	50,60%	258,73	4,61
29	Armatür-10	Lamba-2	1610,24	51,70%	832,49	43,29
30	Armatür-10	Lamba-3	1330,8	52,10%	693,35	44,53
31	Armatür-11	-	673,32	100,00%	673,32	89,78
32	Armatür-12	-	629,85	100,00%	629,85	86,28
33	Armatür-13	-	480,15	100,00%	480,15	60,02
34	Armatür-14	-	1062,9	100,00%	1062,9	139,86

LOR (Light output ratio) değeri, armatürden çıkan toplam ışık miktarının oranını % cinsinden ifade etmektedir. E27 duylu armatürlerde bu değer açılı ışıkölçer test sisteminde ölçülmüş ve ölçüm sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir. LED'li armatürlerde LOR değeri Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından %100 olarak kabul edilmiştir. Bu sebeple LED çipli armatürlerde bu değer %100 olarak alınmıştır. Lamba kullanılan E27 duylu modellerde LOR değerinin %100'den küçük çıkmasının temel nedeni lambaların 360° ışık vermesinden ötürü üretilen ışık miktarının tamamının armatürden dışarı çıkamamasıdır.

Armatür camının fiziksel özelliği LOR değerini ve buna paralel olarak etkinlik değerini doğrudan etkilemektedir. Aynı ışık kaynağının kullanıldığı farklı armatürlerde gözlenen farklar genel itibarıyla armatür camından kaynaklanmaktadır. Tüm armatürlerin camı buzludur. Buna ek olarak Armatür-3, Armatür-4, Armatür-6, Armatür-7, Armatür-8, Armatür-9, Armatür-10'un camları hem buzlu hem de boyalıdır. Camları boyasız olan ve aynı ışık kaynakları kullanılmış Armatür-1, Armatür-2, Armatür-5 incelendiğinde bu armatürlerin LOR ve etkinlik değerlerinin camları boyalılarından daha yüksek oldukları tespit edilmiştir.

Tüm armatürlerin ışın açıları geniş açıdır ve 101,2°-148,6° arasında değişmektedir. LED çipli armatürler doğrudan aşağı yönlü ışık verdikleri için açı değerleri E27 duylu armatürlerden daha dardır. (LED çipli armatürler 101,2°-109,1° arası, E27 duylu armatürler 114,2°-148,6°) E27 duylu armatürlerde kullanılan lambalar 360° ışık verdikleri için daha geniş açıda ışık verirler. Armatürlerde ışınları düzenleyici bir reflektör bulunmaması armatürlerde karşılaşılan geniş açının temel sebebidir. Ayrıca E27 duylu armatürlerde kullanılan farklı lambalarla farklı ışın açıları elde edilmiştir. Bunun temel sebebi lamba çaplarının farklı olmasıdır.

5. PIR Sensörlü Armatürlerin Ekonomik Analizi

Ekonomik analiz ömür maliyet analizi (LCCA) metodu ile yapılmıştır (Ayaz, 2017). LCCA metoduna göre toplam maliyet (TC) Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$TC = IC + MC + EC - SV \quad (1)$$

IC montaj maliyetini, MC bakım maliyetini, EC enerji maliyetini, SV hurda değerini ifade etmektedir.

Analiz için toplam süre armatürlerin efektif olarak kullanılabileceği süre olan 10 yıl olarak alınmıştır. Bu süre zarfında her armatürün günde 4 saat çalışacağı, 20 saat beklemede kalacağı, 25 kere de açılıp kapanacağı öngörülmüştür.

IC değeri için armatürlerin satın alma maliyeti dikkate alınacaktır. Tüm armatürlerin montaj şekli aynı olduğu için montaj işçiliği analize dahil edilmeyecektir. Satın alma maliyeti E27 duylu armatürler için ortalama 50TL/adet, LED çipli armatürler için de ortalama 100TL/adettir.

MC değeri için yalnız E27 duylu armatürlerde kullanılacak lamba maliyeti dikkate alınacaktır. LED çipli armatürler bu süre zarfında herhangi bir LED çip veya parça değişimine ihtiyaç duymamaktadırlar. Bakım sebebiyle yapılacak temizlik ve diğer kontroller tüm armatürlerde aynı olacağı için analize dahil edilmeyecektir.

Lamba-1'in fiyatı 5,50TL/adettir. Kullanım ömrü 2000 saat, açma kapama sayısı da 8000 adettir. Bu sebeple kullanım ömrü, açma kapama sayısına bağlıdır ve analiz süresi boyunca 12 kez lamba değişilmesi gerekir. Buna göre toplam lamba maliyeti 132,00TL olmaktadır.

Lamba-2'nin fiyatı 10,30TL/adettir. Kullanım ömrü 15000 saat, açma kapama sayısı da 150000 adettir. Bu sebeple kullanım ömrü, lamba ömrüne bağlıdır ve analiz süresi boyunca lamba değişilmesi gerekmez. Buna göre toplam lamba maliyeti 20,60TL olmaktadır.

Lamba-3'ün fiyatı 10,35TL/adettir. Kullanım ömrü 25000 saat, açma kapama sayısı da 50000 adettir. Bu sebeple kullanım ömrü, açma kapama sayısına bağlıdır ve analiz süresi boyunca 1 kez lamba değişilmesi gerekir. Buna göre toplam lamba maliyeti 41,40TL olmaktadır.

EC değeri için yıllık kullanım ve bekleme süresine göre armatürlerin yıllık enerji tüketim miktarları hesaplanır. Hesaplanan tüketim miktarları enerji birim fiyatı (vergiler dahil İstanbul Anadolu Yakası Ağustos 2018 perakende tek zamanlı enerji tüketim birim fiyatı olan 0,485877TL/kWh kullanılmıştır) ile çarpılarak yıllık enerji maliyeti bulunur. Bulunan yıllık enerji maliyeti enflasyon oranı (e) (TCMB Enflasyon Verileri Tüketici Fiyatları, 2018) ve faiz oranı (i) (TCMB Kredi ve Mevduatlara Uygulanan Ağırlıklı Ortalama Faiz Oranları, 2018) parametrelerinin analize dahil edildiği Eşitlik 2 vasıtasıyla 10 yıllık toplam tüketim bedelinin şimdiki değerine çevirilir.

$$EC(\text{şimdiki değer}) = EC * (1 + e) * \frac{1 - \left(\frac{1+e}{1+i}\right)^{10}}{i - e} \quad (2)$$

Eşitlik 2 vasıtasıyla hesaplanan 10 yıllık toplam enerji maliyetleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Armatürlerin 10 yıllık toplam enerji maliyetleri

No.	Armatür Cinsi	Lamba	Yıllık Tüketim Toplamı (kWh)	Yıllık Tüketim Tutarı (TL)	Toplam Enerji Maliyeti Şimdiki Değeri (TL)
1	Armatür-1	Lamba-1	91,03	44,23	529,54
2	Armatür-1	Lamba-2	37,92	18,42	220,56
3	Armatür-1	Lamba-3	32,47	15,78	188,88
4	Armatür-2	Lamba-1	89,94	43,70	523,17
5	Armatür-2	Lamba-2	37,17	18,06	216,23
6	Armatür-2	Lamba-3	31,73	15,41	184,55
7	Armatür-3	Lamba-1	88,24	42,87	513,32
8	Armatür-3	Lamba-2	34,78	16,90	202,30
9	Armatür-3	Lamba-3	29,38	14,27	170,88
10	Armatür-4	Lamba-1	86,90	42,22	505,50
11	Armatür-4	Lamba-2	33,36	16,21	194,06
12	Armatür-4	Lamba-3	27,99	13,60	162,81
13	Armatür-5	Lamba-1	86,81	42,18	504,99
14	Armatür-5	Lamba-2	33,22	16,14	193,22
15	Armatür-5	Lamba-3	27,84	13,53	161,96
16	Armatür-6	Lamba-1	86,46	42,01	502,95
17	Armatür-6	Lamba-2	33,32	16,19	193,81
18	Armatür-6	Lamba-3	27,96	13,58	162,64
19	Armatür-7	Lamba-1	87,91	42,71	511,36
20	Armatür-7	Lamba-2	34,16	16,60	198,74
21	Armatür-7	Lamba-3	28,82	14,00	167,65
22	Armatür-8	Lamba-1	87,12	42,33	506,78
23	Armatür-8	Lamba-2	34,21	16,62	198,99
24	Armatür-8	Lamba-3	28,84	14,01	167,74
25	Armatür-9	Lamba-1	88,26	42,88	513,40
26	Armatür-9	Lamba-2	34,21	16,62	198,99
27	Armatür-9	Lamba-3	28,82	14,00	167,65
28	Armatür-10	Lamba-1	86,34	41,95	502,28
29	Armatür-10	Lamba-2	32,46	15,77	188,80
30	Armatür-10	Lamba-3	27,11	13,17	157,71
31	Armatür-11	-	18,25	8,87	106,16
32	Armatür-12	-	15,77	7,66	91,72
33	Armatür-13	-	18,98	9,22	110,41
34	Armatür-14	-	16,57	8,05	96,40

10 yıllık kullanım süresi sonunda armatürlerin ekonomik değerinin kalmayacağı öngörülmektedir. Bu sebeple SV değeri sıfır olarak alınmış ve Eşitlik 1’de işleme dahil edilmemiştir.

10 yıllık analiz süresince armatürlerin toplam maliyetleri Çizelge 7’de verilmiştir. Ekonomik analiz sonucuna göre en ekonomik armatür seçeneği LED çipli armatürler olmaktadır. LED çipli armatürleri ekonomi bakımından LED lamba (Lamba-2 ve Lamba-3) takılı armatürler izlemektedir. Lamba-3 takılı alternatifler, Lamba-2 takılılarda bir miktar daha fazla ekonomiktir. Lamba-1 takılı armatürler ise ekonomi konusundaki en kötü seçenektir. Bu armatürler LED çipli armatürlerin 3 katından, LED lambalı alternatiflerin ise 2 katından daha yüksek bir maliyete sebep olmaktadır.

Çizelge 7. Armatürlerin toplam maliyetleri

No.	Armatür Cinsi	Lamba	(IC) Kurulum Maliyeti (TL)	(MC) Bakım (Lamba) Maliyeti (TL)	(EC) Enerji Maliyeti (TL)	(TC) Toplam Maliyet (TL)
1	Armatür-1	Lamba-1	50,00	132,00	529,54	711,54
2	Armatür-1	Lamba-2	50,00	20,60	220,56	291,16
3	Armatür-1	Lamba-3	50,00	41,40	188,88	280,28
4	Armatür-2	Lamba-1	50,00	132,00	523,17	705,17
5	Armatür-2	Lamba-2	50,00	20,60	216,23	286,83
6	Armatür-2	Lamba-3	50,00	41,40	184,55	275,95
7	Armatür-3	Lamba-1	50,00	132,00	513,32	695,32
8	Armatür-3	Lamba-2	50,00	20,60	202,30	272,90
9	Armatür-3	Lamba-3	50,00	41,40	170,88	262,28
10	Armatür-4	Lamba-1	50,00	132,00	505,50	687,50
11	Armatür-4	Lamba-2	50,00	20,60	194,06	264,66
12	Armatür-4	Lamba-3	50,00	41,40	162,81	254,21
13	Armatür-5	Lamba-1	50,00	132,00	504,99	686,99
14	Armatür-5	Lamba-2	50,00	20,60	193,22	263,82
15	Armatür-5	Lamba-3	50,00	41,40	161,96	253,36
16	Armatür-6	Lamba-1	50,00	132,00	502,95	684,95
17	Armatür-6	Lamba-2	50,00	20,60	193,81	264,41
18	Armatür-6	Lamba-3	50,00	41,40	162,64	254,04
19	Armatür-7	Lamba-1	50,00	132,00	511,36	693,36
20	Armatür-7	Lamba-2	50,00	20,60	198,74	269,34
21	Armatür-7	Lamba-3	50,00	41,40	167,65	259,05
22	Armatür-8	Lamba-1	50,00	132,00	506,78	688,78
23	Armatür-8	Lamba-2	50,00	20,60	198,99	269,59
24	Armatür-8	Lamba-3	50,00	41,40	167,74	259,14
25	Armatür-9	Lamba-1	50,00	132,00	513,40	695,40
26	Armatür-9	Lamba-2	50,00	20,60	198,99	269,59
27	Armatür-9	Lamba-3	50,00	41,40	167,65	259,05
28	Armatür-10	Lamba-1	50,00	132,00	502,28	684,28
29	Armatür-10	Lamba-2	50,00	20,60	188,80	259,40
30	Armatür-10	Lamba-3	50,00	41,40	157,71	249,11
31	Armatür-11	-	100,00	0,00	106,16	206,16
32	Armatür-12	-	100,00	0,00	91,72	191,72
33	Armatür-13	-	100,00	0,00	110,41	210,41
34	Armatür-14	-	100,00	0,00	96,40	196,40

6. Bulgular ve Tartışma

Elektriksel ve ışıksal analizlerin sonucuna göre en verimli PIR sensörlü armatürün LED çipli armatürler olduğu tespit edilmiştir. PIR sensörlü armatürleri LED lamba kullanılan E27 duylu armatürler izlemektedir. E27 duylu armatürlerde halojen lamba kullanılması ise en düşük verimli armatür/ışık kaynağı kombinasyonudur.

Ekonomik analiz sonuçları da elektriksel ve ışıksal analiz sonuçlarına paralel olarak gerçekleşmiştir. Buna göre en ekonomik PIR sensörlü armatür seçeneği LED çipli armatürlerdir. LED çipli armatürleri yine E27 duylu armatürlerde LED lamba kullanımı izlemektedir. E27 duylu armatürlerde halojen lamba kullanımı ise en maliyetli çözümdür. E27 duylu armatürlerin ve halojen lambaların ilk satın alma maliyeti düşük olduğu için kullanıcılar ilk başta cazip gelmektedir ve çoğunlukla tercih sebebi olabilmektedirler. Ancak zaman içinde yüksek enerji tüketim bedelleri ve kısa halojen lamba ömrü sebebiyle kullanım süresi boyunca LED lamba kullanımından 2 kat, LED çipli armatür kullanımından ise 3 kat daha maliyetli olmaktadır. Buradan hareketle, bir projede ilk kez armatür kurulumu yapılacaksa LED çipli armatürlerin tercih edilmesi gerekir. Şayet mevcut armatürlerin lambaları değiştirilecekse de LED lambalar tercih edilmeli ve halojen lambalardan kaçınılmalıdır.

PIR sensörlü armatür seçimi yapılırken ön camı boyasız bir model seçmek özellikle E27 duylu armatürlerde önem arz etmektedir. Boyalı camlar armatürden çıkan ışık miktarını düşürdükleri için ışıksal verimde düşüşe neden olurlar. Daha yüksek ışıksal verim için camı boyasız olan armatürler tercih edilmelidir.

PIR sensörlü armatürlerin tamamı reflektörsüz tiptedir. Armatürlere reflektör ilavesi özellikle E27 duylu armatürlerde armatürden çıkacak ışık miktarının artmasına ve ışıksal verimin yükselmesine yardımcı olabilir. Ayrıca reflektör ilavesi, yüksek tavan montajı durumunda armatürün ışıksal performansına da olumlu katkı sağlar.

Kaynaklar

- Hasan, K. M. M., Rahman, M. S. ve Rafiq, M. A., (2017). "Experimental Analysis of Harmonic and Power Factor for Various Lighting Loads", 2017 3rd International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), 7-9 Aralık 2017, Khulna.
- Oliveira, G. S., Oliveira, E. P., Silva, A. P. ve Carvalho, C. C. M. M., (2016). "Power Quality of LED Lamps", 2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 16-19 Ekim 2016, Minas Gerais.
- Raditschova, J. ve Gasparovsky, D., (2016). "LED retrofits and their role in transient to the more energy efficient home lighting", 2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4), 13-16 Eylül 2016, Karpacz.
- Raimondi, F. M., Curto, D., Frazitta, V. ve Miloner, D., (2018). "Energy savings for indoor lighting in a shopping mall: a case of study", 2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 10-12 Nisan 2018, Monaco.
- Oleksijs, R. ve Sauhata, A., (2016). "Hallways and Stairways Lighting System Cost Reduction", 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 13-14 Ekim 2016, Riga & Cesis.
- Tsai, C. H., Bai, Y. W., Chu, C. A., Chung, C. Y. ve Lin, M. B., (2011). "PIR-sensor-based Lighting Device with Ultra-low Standby Power Consumption", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.57, No.3: 1157-1164.
- Tsai, C. H., Bai, Y. W., Lin, M. B., Chung, C. Y. ve Jhang, R. J. R., (2013). "Design and Implementation of a PIR Luminaire with Zero Standby Power Using a Photovoltaic Array", 2013 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 11-14 Ocak 2013, Nevada.
- Juntunen, E., Sarjanoja, E., Eskeli, J., Pihlajaniemi, H. ve Österlund, T., (2018). "Smart and dynamic route lighting control based on movement tracking", Building and Environment, 142: 472-483.
- IEEE. (2014). IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems (Standard No. IEEE 519-2014). Retrieved from <https://standards.ieee.org/content/ieee-standards/en/standard/519-2014.html>
- Ayaz, R., (2017). Led ve Konvansiyonel Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürlerinin Işıksal, Elektriksel ve Ekonomik Açından İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TCMB Enflasyon Verileri Tüketici Fiyatları, <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri/Tuketici+Fiyatları> , 9 Kasım 2018.
- TCMB Kredi ve Mevduatlara Uygulanan Ağırlıklı Ortalama Faiz Oranları, <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB%20TR/Main%20Menu/Istatistikler/Secilmis%20Grafikler/Parasal%20ve%20Finansal%20Istatistikler/Kredi%20ve%20Mevduatlara%20Uygulanan%20Ağırlıklı%20Ortalama%20Faiz%20Oranları> , 9 Kasım 2018



Developing a Potentiometric Ractopamine-Selective Electrode and Its Application

Gulsah Saydan Kanberoglu^{1*}

¹Van Yuzuncu Yıl University, Faculty of Science, Department of Chemistry, 65080, Van-Turkey (ORCID: 0000-0003-4231-6217)

(İlk Geliş Tarihi 2 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 25 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.585768)

ATIF/REFERENCE: Kanberoglu, G. S. (2019). Developing a Potentiometric Ractopamine-Selective Electrode and Its Application. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 776-784.

Abstract

In this study, a potentiometric ion-selective electrode (ISE) was developed in order to quantify ractopamine. Ractopamine is a phenylethanolamine with β_2 -adrenergic agonist properties; was in fact developed for treating respiratory diseases; and is used as tocolytic, bronchodilator and heart tonic in veterinary and human medicine (1). Ion-pair of Ractopamine-Tetraphenylborate was synthesized. The ion pair that was synthesized was employed as ionophore in the structure of electrode membranes. For the optimization of the membranes, PVC membrane ion-selective electrodes were produced in various compositions using the synthesized ion pairs and potentiometric performance characteristics of these electrodes were explored. It was determined that the electrode with the composition of 5% Rac-TPB+32%PVC+62.6%DBF+0.4% KTpCIPB (Potassium tetrakis (4-chlorophenyl borate) demonstrated the best potentiometric performance characteristics. The linear range, slope, limit of quantification, pH range, and response time of this electrode were determined to be 1.0×10^{-5} - 1.0×10^{-1} M, 51.0 mV/decade, 1.0×10^{-5} M, 3.0-5.0, and < 5s, respectively. The electrode has demonstrated a highly repeatable potentiometric response. It was applied in pigswill using ractopamine selective electrode.

Keywords: Ion-selective electrode, quantification of ractopamine, PVC membrane electrode

Potansiyometrik Raktopamin Seçici Elektrot Geliştirilmesi ve Uygulaması

Öz

Bu çalışmada, raktopamin miktarını belirlemek için potansiyometrik iyon seçici bir elektrot (ISE) geliştirildi. Raktopamin, aslında solunum yolu hastalıklarının tedavisi için geliştirilmiş ve veterinerlikte ve insan tıbbında tokolitik, bronkodilatör ve kalp tonik olarak kullanılmakta olan β_2 -adrenerjik agonist özelliklere sahip bir feniletanolamindir (1). Raktopamin-Tetrafenilborat iyon çifti sentezlendi. Sentezlenen iyon çifti, elektrot membranının yapısında iyonofor olarak kullanıldı. Membranların optimizasyonu için, PVC membran iyon seçici elektrotları, sentezlenen iyon çiftleri kullanılarak çeşitli bileşimlerde üretildi ve bu elektrotların potansiyometrik performans özellikleri araştırıldı. % 5 Rak-TPB +% 32 PVC +% 62,6 DBF +% 0,4 KTpCIPB (Potasyum tetrakis (4-klorofenil borat) bileşimine sahip olan elektrodun en iyi potansiyometrik performans özelliklerini gösterdiği tespit edildi. Bu elektrodun doğrusal çalışma aralığı, eğimi, tayin limiti, pH aralığı ve cevap zamanı aralığı sırasıyla 1.0×10^{-5} - 1.0×10^{-1} M; 51.0 mV; 1.0×10^{-5} M, 3.0-5.0 ve <5s olarak belirlendi. Elektrot son derece tekrarlanabilir bir potansiyometrik cevap gösterdi. Raktopamin seçici elektrodu domuz yemine uygulandı.

Anahtar kelimeler: İyon seçici elektrot, raktopamin tayini, PVC membran elektrot

*Corresponding author: Van Yuzuncu Yıl University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Van, Turkey (ORCID: 0000-0003-4265-6086; gsoydan2002@hotmail.com)

1. Introduction

Ractopamine is a phenylethanolamine with β_2 -adrenergic agonist properties and it was in fact developed for treating respiratory diseases. It is used as tocolytic, bronchodilator and heart tonic in veterinary and human medicine (Lu et al., 2012). This compound is illegally administered as a nutrient in the livestock industry in China in order to direct nutrients from fat accumulation to muscle growth (Dong et al., 2012). But, it poses a potential risk such as drug residues that accumulated in animal tissues, muscle tremors, vomiting, nervousness, and heart palpitation in terms of consumer health (Bolera et al., 2012; Halsey et al., 2011). Therefore, in many countries, ractopamine is not licensed for animal production. Ractopamine residue in pork products may pose a health risk for people with asthma cardiovascular. Use of ractopamine in pigs is banned by many countries such as China, Japan, and the European Union. The maximum residue limit of ractopamine in pig liver is definitely $0.15 \mu\text{g} / \text{g}$ or less. However, the toxic effects and potential hazards of beta-agonists including cardiac palpitation, tachycardia, nervousness, muscle tremors, and confusion have been reported in many studies (Brambilla et al., 2000; Von Haehling et al., 2009). To date, various analytical methods were developed to detect ractopamine in animal feeds, animal tissues, and body fluids. Liquid chromatography-mass spectrometry (Blanca et al., 2005), gas chromatography-mass spectrometry (He et al., 2007), immunoassay (Pleadin et al., 2012; Shen et al., 2007), high-performance liquid chromatography (Turberg et al., 1996), and capillary electrophoresis (Wang et al., 2010) are some of those methods. Because ractopamine comprises a phenolic hydroxyl group, it is active electrochemically and it can be oxidized on an electrode surface. Therefore, because of its benefits of low instrumental cost and rapid analyzing, for detecting ractopamine, electrochemical methods can be employed. However, as these methods generally require complex procedures, expensive instruments, expensive materials, and high-cost equipment, they are not very suitable for the analysis of environmental samples at high amounts and this makes on-site and real-time detection difficult. Potentiometry is preferred because of its advantages such as simplicity, cheapness, providing rapid and reliable results, being miniaturized, and not requiring specialist technicians. We reviewed the literature and saw that there is no ractopamine-selective potentiometric sensor that was developed to date.

In the study, it was aimed to develop a ractopamine-selective sensor using all-solid-state contact PVC membrane potentiometric sensor technology. In order to use different ion pairs of ractopamine as ionophore substance in its structure, firstly ion pair type that provides the best potentiometric characteristics in the electrode membrane by synthesizing different ion pairs to be employed as an active ingredient in the structure of the PVC membrane ion-selective electrode membrane. The optimum membrane composition that exhibited the best potentiometric performance characteristics was investigated and the potentiometric performance characteristics for the electrode with this membrane composition (Linear range, limit of quantification, selectivity, response time, pH range, lifetime, repeatability, sensitivity) were determined. Finally, an application was performed for quantification of ractopamine on pig sample using the produced electrode.

2. Materials and Method

2.1. Reagents

Tetrahydrofuran (THF), high molecular weight poly (vinyl chloride) (PVC), o-nitrophenyloctyl ether (NPOE), dibutyl phthalate (DBP), dioctyl phthalate (DOP), dioctylsebacate (DOS), sodium tetraphenylborate (NaTPB), ractopamine hydrochloride (Rac-HCl), potassium tetrakis (4- chlorophenyl) borate (KTpCIPB), and graphite powder ($<20 \mu\text{m}$) were procured from Sigma-Aldrich. Epoxy (TP3100) and hardener (Desmodur RFE) are used in the preparation of conductive solid contact, and they were bought from Denlaks (Turkey) and Bayer AG (Germany), respectively. Pigswill was obtained from a company in Turkey.

The analytical grade nitrate salts of the respective cations were used in the preparation of all the standard and stock solutions. In the study, deionized water with a resistivity of $18.3 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ was used when the aqueous solutions were being prepared.

2.2. Instruments

A computer-controlled laboratory- made high- input impedance multi-channel potentiometric measurement system was employed for the performing of potentiometric measurements. Through out the potentiometric measurements, a saturated silver/silverchloride reference electrode (Gamry) was employed. A Starter 3100 model benchtoppHmeter (Ohaus Corporation) was used for the measurement of pH values.

2.3. Preparation of the Standard Solutions

The standard solutions used in the measurements were prepared using analytical grade substances. Firstly, standard solutions of each type were prepared in pH=4 Acetate buffer and 0.1 M concentration. Then, the standard solutions of these solutions at required concentrations in the study were prepared by diluting the initially prepared standard solutions with 0.1 M concentration using pH=4 Acetate buffer.

2.4. Preparation of the Buffer Solutions

It was prepared as follows: 57.2 mL Acetic acid and 23.65 g Sodium acetate were dissolved in deionized water, adjusted to pH 4 and made up to 1000 mL with deionized water.

2.5. Synthesizing Maprotiline- Tetraphenylborate Ion-Pair

Ractopamine-Tetraphenyl Borate (Rac-TPB) ion pair: The solution of 2 mL 10^{-2} M sodium tetraphenylborate was added gradually to the 2 mL of the solution that contained 10^{-2} M RactopamineHCl and was stirred continuously. The formed bright white-colored precipitate was centrifuged until it was decontaminated and then, it was left to dry in dark under room conditions. After it was dried, it was used directly as ionophore.

2.6. Preparation of the Electrodes

In the study, the Rac-TPB ion pair, which ractopamine formed with Sodium tetraphenylborate, was used in the structure of membrane as ionophore substance at different rates and Rac-selective electrode was formed in this way. Electrode production takes place in two stages in general. The first stage consists of the preparation of the solid contacts that form the surface on which the membrane will be coated, and the second stage consists of the preparation of the membrane cocktails that contained Rac-TPB ion pairs and coating the solid contact surfaces with it. The solid contacts were prepared by submerging of one of the open ends of a copper wire into a mixture that contained 50% (a/a) graphite, 35% epoxy (a/a), and 15% (a/a) hardener and was homogenized, and then its drying under room conditions for a period of 1 night. All the PVC membranes constantly contain 32% PVC. The other components of the PVC membranes comprised of plasticizers at different types, ion pairs, and sometimes ionizer component. The membranes were prepared by solving of total membrane mass of 100 mg in 2 mL THF. The solid contact surfaces were coated by being submerged into the prepared PVC membrane cocktails for five times and were left to dry under room conditions for 24 hours. After the electrode membranes were dried, the electrodes were submerged into the 10^{-2} M RactopamineHCl containing the standard solution, which was prepared in pH=4 Acetate buffer, for 12 hours and they were conditioned and made ready for measurement. The electrodes were preserved in dark under laboratory conditions while they were not employed. Prior to starting each measurement, the electrodes were kept in the conditioning solution for half an hour.

2.7. Potentiometric Measurements

The EMF values were measured at room temperature (20 ± 2) °C using the following electrochemical cell assembly:

Ag/AgCl RE || RAC solution | PVC membrane | conductive solid contact | Cu wire

The reference and indicator electrode were submerged in 25 mL of the test solutions, which were mixed at a constant rate, and the potentiometric data were taken in this way. Before starting each measurement, the indicator and reference electrodes were cleansed using deionized water and then they were dabbed using a smooth paper that is capable of adsorbing.

3. Findings

3.1. Investigation of the Optimum Membrane Composition

In PVC membrane ion-selective electrodes, ionophore, plasticizer, ionizer, and PVC ratio, and also types of plasticizers and ionizers are important factors that determine the potentiometric performance characteristics of an electrode. Therefore, in order to detect the electrode that displays the best potentiometric performance characteristics, different membrane compositions were prepared by changing these parameters for the Rac-TPB ion pair, and the potentiometric performance characteristics (slope, the limit of quantification, linear range, and R^2 value for the calibration curve) of the electrodes that were prepared using these membranes were investigated. The compositions of 5 electrode membrane prepared using the Rac-TPB ion-pair were given in Table-1.

Table 1. The compositions of the electrode membranes that were prepared using Rac-TPB ion pair as ionophore

Electrode No.	Membrane Composition (% a/a), m					
	PVC	NPOE	DBF	DOS	Rac-TPB	KT_p CIPB
A1	32.0	-	62.6	-	5.0	0.4
A2	32.0	-	62.0	-	5.0	1.0
A3	32.0	-	62.0	-	5.0	1.0
A4	32.0	-	62.7	-	5.0	0.3
A5	32.0	-	62.5	-	5.0	0.5

To carry out the optimization of the membranes, PVC membrane ion-selective electrodes were produced in various compositions using the synthesized Ractopamine-Tetraphenylborate ion pair and then potentiometric performance characteristics of these electrodes were explored. It was determined that the best potentiometric performance characteristics belonged to the electrode with the composition of 5% Rac-TPB + 32% PVC + 62.6% DBF + 0.4% KTpCIPB (Potassium tetrakis (4-chlorophenyl borate)).

To determine the potentiometric performance characteristics of the developed electrodes, ractopamine solutions of 1.0×10^{-1} M – 1.0×10^{-5} M were made ready in pH=4 acetate buffer. Slope, linear range, and R^2 values of each electrode from the calibration graphs obtained with the recorded potential values were given in Table 2.

Table 2. Potentiometric performance characteristics of the PVC membrane Ractopamine-selective electrode that was prepared using Rac-TPB ion pair

Electrode No.	Slope, mV/decade	Limit of Quantification, M	Linear Range, M	R^2
A-1	51.0	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5} - 1.0×10^{-1}	0.9948
A-2	37.1	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1}	0.9711
A-3	34.3	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1}	0.9790
A-4	33.4	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1}	0.9870
A-5	48.7	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1}	0.9850

As can be understood from Table 2, the electrode A-1 has the best membrane composition as it has a high slope, low limit of quantification, wide linear range, and high R^2 value. After this stage, potentiometric performance characteristics of the electrode A-1 will be examined. The potentiometric behavior and the relevant calibration graph obtained from the calibration of 1.0×10^{-1} M – 1.0×10^{-5} M ractopamine solutions for the electrode A-1 were given in Figure 1 and Figure 2, respectively.

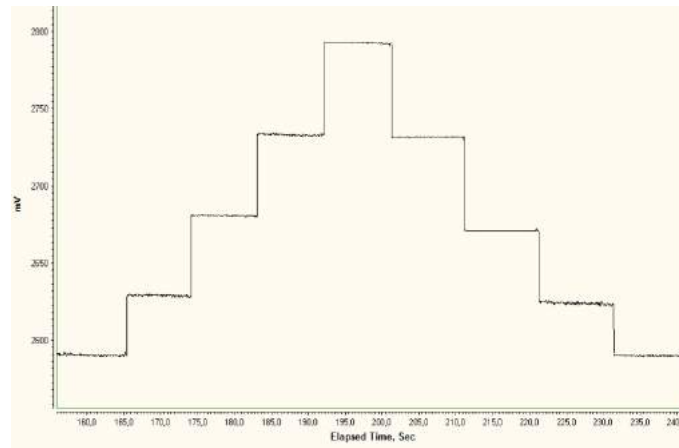


Figure1. Potential values of the ractopamine solutions of A-1 Rac-selective electrode at different concentrations (1) 10^{-1} M (2) 10^{-2} M (3) 10^{-3} M (4) 10^{-4} M (5) 10^{-5} M

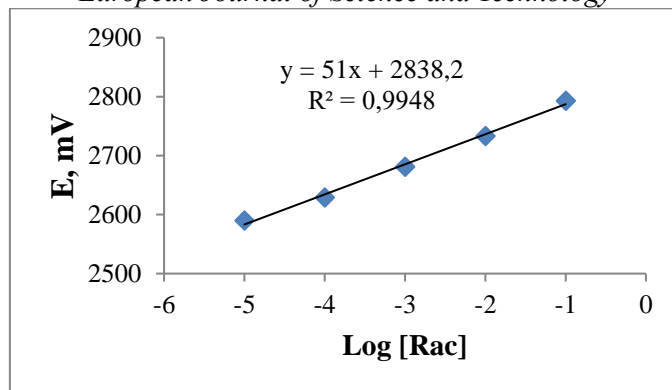


Figure 2. Calibration graph of the A-1 Rac-selective electrode

3.2. Determining the response time of the Ractopamine-selective electrode

The equilibration time that the electrode had was determined in the 10^{-3} M and 10^{-2} M ractopamine solutions that were prepared to determine the response time of the electrode. While the solution was being mixed at a constant speed, the times required for the potential to become stable were written down (t_{95}). The mean time during which the potentials reached stable position was set as the response time of the electrode. The equilibration time of the electrode in the 10^{-3} M and 10^{-2} M ractopamine solutions is seen in Figure 3. It was found that the mean response time of the electrode was < 5 sec.

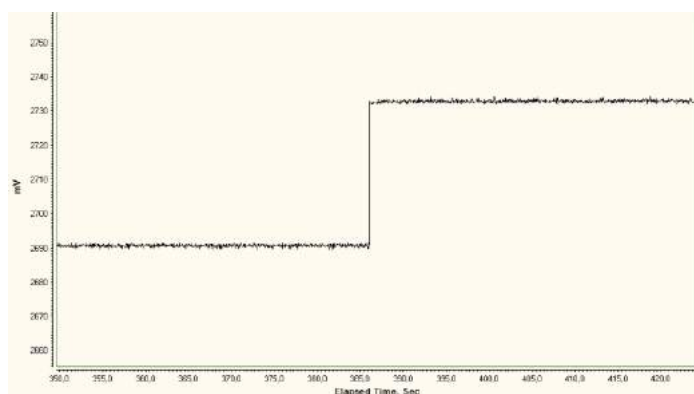


Figure 3. Response time of the A-1 Rac-selective electrode for 10^{-2} M- 10^{-3} M RacHCl solutions

3.3. Determining the response time of the Ractopamine-selective electrode

Measurements of the A1 (5% Rac-TPB + 32% PVC + 62.6% DBF + 0.4% Ionic) electrode were taken consecutively in 10^{-2} M and 10^{-3} M ractopamine solutions to determine the repeatability of the ractopamine-selective electrode. Potential measurements and repeatability graph for the electrode A1 were given in Table 3 and Figure 4, respectively.

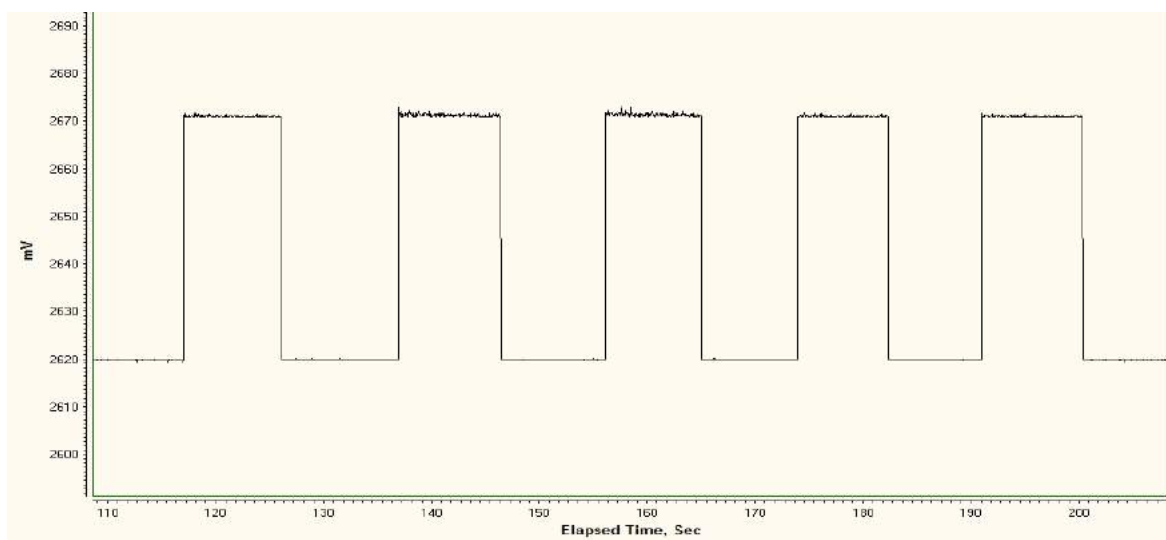


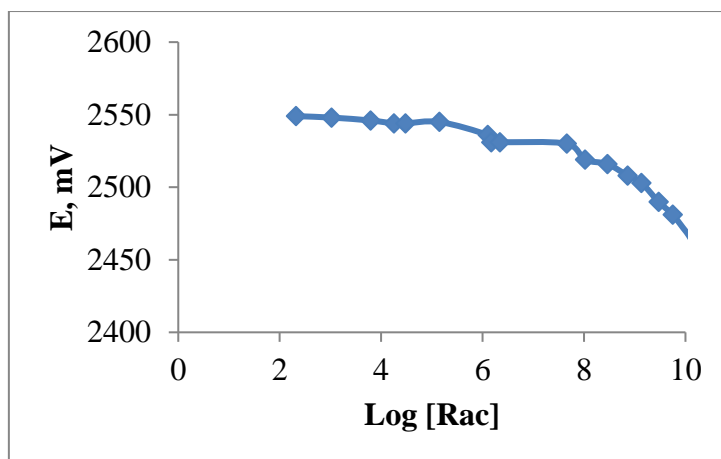
Figure 4. Repeatability of the A-1 Rac-selective electrode in 10^{-3} M and 10^{-2} M solutions

Table 3. Repeatability of the A-1 electrode in 10^{-2} M, 10^{-3} M ractopamine solutions

Ractopamine Concentration (mol/L)	Potential, mV					X±S
10^{-2}	2671	2672	2672	2671	2671	2671.4±0.55
10^{-3}	2620	2620	2620	2620	2620	2620.0±0

3.4. Determining the pH range of the Ractopamine-selective electrode

For determining the pH range of the ractopamine-selective electrode, the reference electrode, A-1 ractopamine-selective electrode, and pH meter were simultaneously submerged into the 25 mL 10^{-2} M and 10^{-3} M ractopamine solutions. 10^{-2} M HCl and 10^{-2} M NaOH were slowly added to the ractopamine solution and pH value of the solution was altered in this way. Each time acid and base were included to the solution, the pH value of the solution and its potential values taken from potentiometric cell were noted. The obtained potential values corresponding to the read pH values were plotted on the graph. The obtained graph was given in Figure 5. As one can see in the graph, the potentiometric response of the electrode is not affected by hydronium ion within the range of pH=3.0-5.0. But, it is seen that electrode potentials start to decrease in increasing pH values. It is thought that this is because of the decrease in the amount of ractopamine, which was protonated in the increasing pH values.

Figure 5. pH range of the Rac-selective electrode for 10^{-3} M Ractopamine solution

3.5. Determining the Selectivity of the Rac-Selective Electrode

For determining the effects of some common alkali metals, alkaline earth metals, and heavy metals on the response of the ractopamine-selective electrode, selectivity coefficients for these types were found by the separate solution method ($E_A=E_B$). In calculating the selectivity coefficients, ractopamine concentrations for the potential values read in 1.0×10^{-2} M solutions of interfering ions were detected by using calibration curve. Concentration value, which corresponded to the potential value of the interfering ion for 1.0×10^{-2} M concentration in the calibration curve obtained for ractopamine, was placed in the selectivity coefficient equation and the selectivity coefficients of the electrode were determined for each interfering cation and organic molecule. The selectivity coefficients were inspected carefully and it was seen that the electrode was very selective for the measured types. Potentiometric behavior of the ractopamine-selective electrode for ractopamine and interfering types was given in Figure 6. Selectivity coefficients of the ractopamine-selective electrode that were found for some types by the separate solution method were given in Table 4.

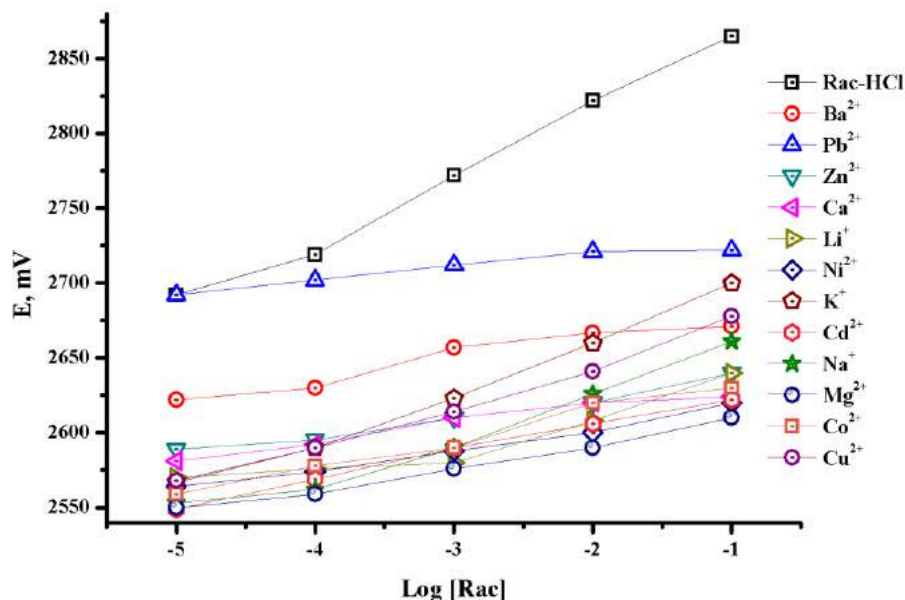


Figure 6. Potentiometric behavior of the ractopamine selective electrode for ractopamine and some interfering types

Table 4. Selectivity coefficients of the ractopamine-selective electrode found by using the separate solution method for some types

No.	Type	$K_{A,B}$	$\log K_{A,B}$
1	Ba ²⁺	4.13×10^{-5}	-4.38
2	Pb ²⁺	6.6×10^{-4}	-3.18
3	Zn ²⁺	3.71×10^{-6}	-5.43
4	Ca ²⁺	3.71×10^{-6}	-5.43
5	Li ⁺	2.0×10^{-5}	-4.7
6	Ni ²⁺	1.3×10^{-6}	-5.9
7	K ⁺	2.9×10^{-4}	-3.5
8	Cd ²⁺	1.8×10^{-6}	-5.7
9	Na ⁺	5.1×10^{-5}	-4.3
10	Mg ²⁺	7.9×10^{-7}	-6.1
11	Co ²⁺	3.7×10^{-6}	-5.4
12	Cu ²⁺	1.1×10^{-5}	-4.96

3.6. Determining the Lifetime of the Rac-Selective Electrode

For determining the lifetime of the rac-selective electrode, the ractopamine-selective electrode was used to take the measurements. The measurements were carried out in certain days in the concentration range of 1.0×10^{-5} - 1.0×10^{-1} M where the electrode A1 worked linearly. The electrode was conditioned in 1.0×10^{-2} M ractopamine solution before the measurements for half an hour each time. The electrode was preserved in room conditions and in a closed and dark medium when not in use. The slope values, obtained by the correspondence of the results of the measurements with the days of the measurements, were plotted on the graph and the graph in Figure 7 was obtained.

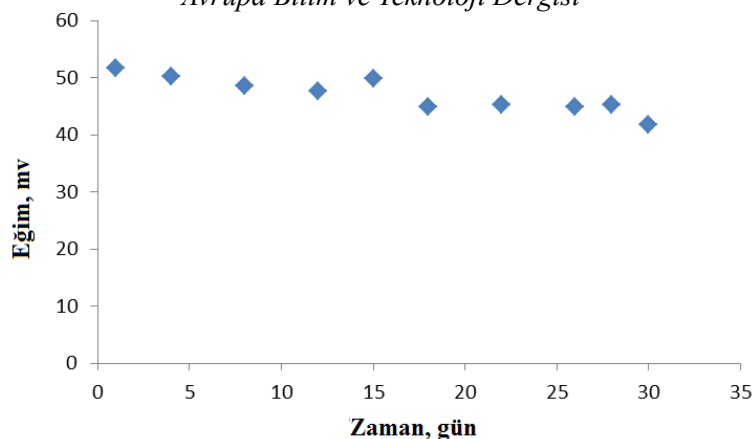


Figure 7. The lifetime of the ractopamine-selective electrode

The graph was examined and it was found that the lifetime of the electrode was 15 days.

3.7. Application of the Ractopamine-Selective Electrode to the Sample

After the potentiometric performance characteristics of the developed ractopamine-selective electrode were examined, the sample application of the electrode was carried out on pigswill. For this purpose, 1g pigswill was taken and dissolved in 100 mL pH=4 acetate buffer. The solution was centrifuged; the clear portion on the top of the solution was taken. Its 20 mL was taken and then its potentiometric measurement was taken. Ractopamine was added into the samples at certain concentrations using the recorded potential values from the calibration graph and standard addition method was employed here. The obtained results were given in Table 5.

Table 5. Application on pig sample with the A1 Rac-selective electrode

Added (mg/L)	Found (mg/L)	Recovery (%)
160,8	158,8	98.7
440	418	95
675	675	100

4. Discussions and Conclusion

Between the ractopamine-selective potentiometric electrodes prepared for the quantification of ractopamine, the optimum membrane composition was determined to be 5% Rac-TPB, 32% PVC, 62.6% DBF, and 0.4% KT_pCIPB . It was determined that the electrode demonstrated a highly selective potentiometric behavior for the commonly used anionic and cationic types. The developed electrode allows for the quantification of ractopamine directly, accurately, precisely, and in a reliable way in the complex matrix environments by this feature. The electrode has a response time of less than 5 sec and allows for rapid quantification of ractopamine. It was observed that the electrode could be used with no alteration in the slope within the linear range of the electrode for 15 days, the linear range decreased and its slope fell after 15 days. Therefore, the lifetime of the electrode was determined to be 15 days. Also, the developed electrode exhibited potentiometric behavior without being affected by the hydronium ion exchange of the solutions in the range of pH=3.0-5.0.

The developed electrode was used in the pigswill sample and standard addition method was used. As the developed electrode has advantages such as simplicity in preparation, low-cost, providing rapid, sensitive, and highly selective measurements, a wide linear range, and low limit of quantification, it has the potential to be used as an alternative to complex, more expensive, and time-consuming measurement techniques. Especially its shorter response time offers the potential to be used as a detector in automatic systems such as flow injection analysis.

References

- Blanca, J., Munoz, P., Morgado, M., Mendez, N., Aranda, A., Reuvers, T., & Hooghuis, H. (2005). Determination of clenbuterol, ractopamine and zilpaterol in liver and urine by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 529, 199–205.
- Bolera, D. D., Shrecka, A. L., Faulkner, D. B., Killefer, J., McKeith, F. K., Hommb, J. W. & Scanga, J. A. (2012). Effect of ractopamine hydrochloride (Optaflexx) dose on live animal performance, carcass characteristics and tenderness in early weaned beef steers. *Meat Science*, 92, 458–463.
- Brambilla, G., T. Cenci, F. Franconi, R. Galarini, A. Macri, F. Rondoni, M. Strozzi, A. & Loizzo, (2000). Clinical and pharmacological profile in a clenbuterol epidemic poisoning of contaminated beef meat in Italy, *Toxicology Letters*, 114, 47–53.
- Dong, J. X., Li, Z. F., Lei, H. T., Sun, Y. M., Ducancel, F., Xu, Z. L., Boulain, J. C., Yang, J. Y., Shen, Y. D., & Wang, H. (2012). Development of a single-chain variable fragment alkaline phosphatase fusion protein and a sensitive direct competitive chemiluminescent enzyme immunoassay for detection of ractopamine in pork. *Analytica Chimica Acta*, 736, 85–91.
- Halsey, C. H. C., Weber, P. S., Reiter, S. S., Stronach, B. N., Bartosh, J. L., & Bergen, W. G. (2011). The effect of ractopamine hydrochloride on gene expression in adipose tissues of finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 89, 1011–1019.
- He, L. M., Su, Y. J., Zeng, Z. L., Liu, Y. H., & Huang, X. H. (2007). Determination of ractopamine and clenbuterol in feeds by gas chromatography–mass spectrometry. *Animal Feed Science and Technology*, 132, 316–323.
- Lu, X., Zheng, H., Li, X. Q., Yuan, X. X., Li, H., Deng, L. G., Zhang, H., Wang, W. Z., Yang, G. S., Meng, M., Xi, R. M., & Aboul-Enen, H. Y. (2012). Detection of ractopamine residues in pork by surface plasmon resonance-based biosensor inhibition immunoassay. *Food Chemistry*, 130, 1061–1065.
- Pleadin, J., Perši, N., Vulic', A., Milic', D., & Vahc'ic', N. (2012). Determination of residual ractopamine concentrations by enzyme immunoassay in treated pig's tissues on days after withdrawal. *Meat Science*, 90, 755–758.
- Shen, L., & He, P. L. (2007). An electrochemical immunosensor based on agarose hydrogel films for rapid determination of ractopamine. *Electrochemistry Communications*, 9, 657–662.
- Turberg, M. P., Rodewald, J. M., & Coleman, M. R. (1996). Determination of ractopamine in monkey plasma and swine serum by high-performance liquid chromatography with electrochemical detection. *Journal of Chromatography B*, 675, 279–285.
- Von Haehling, S., Lainscak, M., Springer, J. & Anker, S.D. (2009). Cardiac cachexia: a systematic overview, *Pharmacology & Therapeutics*, 121, 227–252.
- Wang, W. Y., Zhang, Y. L., Wang, J. Y., Shi, X. S., & Ye, J. N. (2010). Determination of β -agonists in pig feed, pig urine and pig liver using capillary electrophoresis with electrochemical detection. *Meat Science*, 85, 302–305.



ISM Band Haberleşme Uygulamaları İçin Origami Anten Tasarımı

Alper Çalışkan¹, Ahmet Kızılay², Mehmet Ali Belen^{3*}, Peyman Mahouti⁴

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 34300, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4608-8023)

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 34300, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4099-8288)

³ Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, 0800, Artvin, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5588-9407)

⁴ Arel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34300, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3351-4433)

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 28 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.573379)

ATIF/REFERENCE: Çalışkan, A., Kızılay, A., Belen, M. A. & Mahouti, P. (2019). ISM Band Haberleşme Uygulamaları İçin Origami Anten Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 785-791.

Öz

Son yıllarda, ebatları büyük antenlerin maliyetleri düşürmek adına minyatürleştirilmesi giderek artan bir ihtiyaç haline gelmiştir. Özellikle ticari ve askeri uygulamalar için küçük boyutlu, hafif ve geniş bantlı anten tasarımları önem kazanmıştır. Bu sebeple yeniden yapılandırılabilen antenler son yıllarda haberleşme alanındaki ihtiyaçlardan dolayı popüler hale gelmektedir. Yeniden yapılandırılabilen antenler çok fonksiyonlu ve çok bantlı çalışmalar gibi benzersiz avantajlara sahip olmasının yanı sıra, tasarımların minyatürleştirilmesi sayesinde ilgi çekmektedir. Boyut indirgeme amaçlı yeniden yapılandırılabilen anten tasarımında kullanılan tekniklerden biri de Origami katlama sanatıdır. Origami iki boyutlu ortamı katlama vasıtasıyla istenen belirli özelliklerde belirli bir biçime getirilmesi olarak tanımlanabilir. Origami antenler hacim veya alandan tasarruf sağlamaları yönünden oldukça kullanışlıdır. Bununla birlikte Origami şekillerinin, hâli hazırda kullanılan antenlerin yerlerine geçerek klasik anten sistemlerinde köklü yenilikler getirebileceği düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında küçük boyutlu, taşınabilir, katlanabilir, düşük maliyetli ve ayarlanabilir yapılı anten tasarım problemini aşmak için değişebilen katlamalı/Origami mikrodalga antenler incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında ISM bant haberleşme sistemleri için loop ve helis anten modelleri incelenmiştir. Tasarımlarda CST Microwave Studio programı kullanılarak anten yapılarına ait bant genişliği, yansıma S_{11} , kazanç ve ışıma örüntüsüne ek, antenin katlama-açılma durumuna göre tasarımlara ait performans değişimleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında 2.4 GHz frekans bandı uygulamaları için katlanabilir, yüksek kazançlı origami anten modelleri (Yagi-loop ve Helis) tasarımı yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda antenlerin geri-dönüş kaybı S_{11} -10dB altında elde edilmiştir. Anten boyutları katlanmaları ile %75-%80 oranında küçülebilmektedir. Yapılan simülasyonlar sonucunda origami anten yapısı sayesinde ağırlık, taşınabilirlik, istifleme, maliyet, yüksek performans, huzme yönlendiriciliği açısından önemli derecede katkı sağlayabileceği görülmüştür. Önerilen anten yapısının belirtilen özelliklerinden dolayı birçok askeri ve ticari uygulamada avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Origami anten, Boyut azaltma, Yeniden yapılandırılan anten, ISM band uygulamaları.

Design of Origami Antenna for ISM Band Applications

Abstract

In recent years, the miniaturization of large sized antennas had become a necessity for low cost designs. Reconfigurable antenna had become popular recently due to their ability of being multifunctional, multi band alongside of ability of miniaturization in designs. One

* Sorumlu Yazar: Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, 0800, Artvin, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5588-9407, mehmetalibelen@hotmail.com

of the techniques of miniaturization for reconfigurable antenna is Origami folding. Origami antenna designs are efficient designs in means of reduced volume and size. Thus, it is possible to make great innovations in the currently used classical antenna designs with the usage of Origami designs. Herein, in order to achieve the challenging problem of, low size, mobile, foldable, low cost and reconfigurable antenna design Origami microwave antennas had been studied. In this work, origami Loop and Helix antenna models for ISM band applications are investigated. The performance measures of Band-width, Return loss S_{11} , Gain and radiation pattern of designs had been analysed using CST Microwave Studio. The performance measures of designs had been compared for the case of open and folded versions of antennas. Herein, design of high performance origami antennas (Yagi loop and helix) has been studied for applications at 2.4 GHz frequency band. The return loss characteristic of the simulated models has achieved a S_{11} level of less than -10 dB. With the folding ability of the antennas it is possible to reduce the total size of the antennas up to 75-80%. From the simulated results it can be concluded that with the usage of origami it is possible to achieve designs with reduced weight, higher mobility, low cost, high performance and designs with reconfigurable pattern ability. Thus, it can be concluded that the proposed antennas can be taken as advantages design for many military or civil communication applications.

Keywords: Origami antenna, Size reduction, Reconfigurable antenna, ISM band applications.

1. Giriş

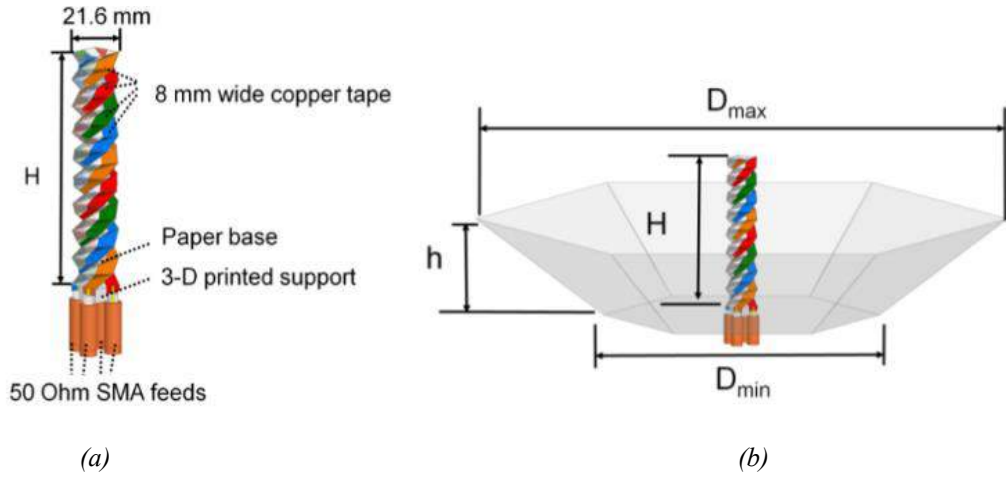
Origami iki boyutlu ortamı katlama vasıtasıyla istenen belirli özelliklerde belirli biçime getirmek olarak tanımlanabilir. En basit yaklaşımla, belirgin şekil derin simetride tek renkli kare parçanın sadece düz çizgide katlanması ile gerçekleştirilebilir; basit olmayan yaklaşımla ise, düz ya da kıvrımlı çizgiler boyunca kesmek ya da yarıklar açmak; çeşitli taslaklar ile (belirli özellikleri elde edebilmek amacıyla) çok renkli ortamları oluşturmak için kullanılır (Demaine ve ark., 2007). Özel katlama, yöntem ve paternler ile oluşturulan şekiller anten tasarımında boyut azaltma ve band genişliği artırma gibi performans parametrelerinde ciddi iyileştirmeler sağlayabilir. Origami katlama sanatı tekniklerini yumuşak ve/veya katlanabilir, mikrodalga çalışma frekanslarına uygun malzemelerde kullanılması ile yüksek performanslı düşük boyutlu anten tasarımları gerçekleştirilebilir. Origami tasarımında, origami şeklinin açılmış durumu iki boyutludur, bu nedenle katlama kalıbı ve origami döşemeleri iki boyutlu düşünmeyi gerektirir. Diğer bir ifadeyle origami tasarımı iki boyutlu tasarım vasıtasıyla elde edilen üç boyutlu bir tasarımdır. Üç boyutlu tasarım düşünsel olarak tüm şeklin göz önünde canlandırılması ve şeklin düşünsel olarak tüm yönlerde çevrilmesi yeteneğini ve ayrıca külenin etkisini, farklı malzemelerin tabiatını, uzay ve derinliğin baştan sona akışını keşfetme yeteneğini gerektirir. Bunun yanında hem iki boyutlu hem de üç boyutlu düşüncenin kaçınılmaz gerekliliği ise tasarımcının iki görevi eş zamanlı olarak yerine getirme durumunda olmasıdır: tasarımcılık ve mühendislik. Sadece tamamlanmış modelin görünümü değil, şeklin gerçekleşmesine nasıl devam edilebileceği ile ilgili stratejik kararlar da hesaba katılmalıdır. Bu nedenle, şüphesiz ki origami tasarımı oldukça zordur ve fikri mülkiyet gerektirir (Felton ve ark., 2014).

Bu çalışmada, küçük boyutlu, taşınabilir, katlanabilir, düşük maliyetli ve ayarlanabilir yapıları anten tasarım problemini aşmak için fraktal şekilli origami antenler incelenmiştir. Fraktal şekilli anten yapıları kullanılarak geleneksel bir anten modelinde (mikroserit yama anten) gibi bir yapıda fraktal şekilli tasarımlar ile benzer performansı çok daha küçük bir alanda elde etmek mümkün olacaktır. Önemli olan yapıda kullanılacak olan fraktal şekilleri kuplaj gibi tahmini zor etkilerinin iyice hesaplanması ve ona göre modellenmeleridir. Günümüzde birçok 3 boyutlu elektromanyetik simulator programı ile bu tasarımlar ciddi anlamda kolaylaşmıştır. Origami fraktal yapılar mekanik düzenekler ile tasarım boyutu katlanma yöntemleri ile değiştirilerek antenin frekans bandı, ışınma paterni, kazanç değeri ve yansıma değerlerini değiştirerek farklı amaçlar için kullanılabilen yapılar oluşturulması mümkün olacaktır. Başka bir uygulama olarak kâğıt üzerine ideal bir helis anten modeli tasarımı yapıldıktan sonra yüksekliğin değişmesiyle antenin sarımlarının arasındaki mesafe düzgün bir şekilde azalır arttırılabilmektedir. Bu tasarım ISM bant haberleşmesi ve GPS sistemlerinde yeni bir yaklaşım sağlamaktadır. Mesafeyi dönme açısına bağlı olarak ifade edersek, dönme açısının teorik sınır aralığı 30 ile 60 derece arasındadır. Ayrıca akordeon origami yapısı genişleyip çökebilme özelliklerine sahiptir. Bu yapıda yüksekliğe bağlı olarak origami antenin çalışma frekansı değiştirilebilmektedir. Katlanabilirlik özelliği genellikle konuşlandırma yapılan çeşitli uygulamalarda avantaj sağlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

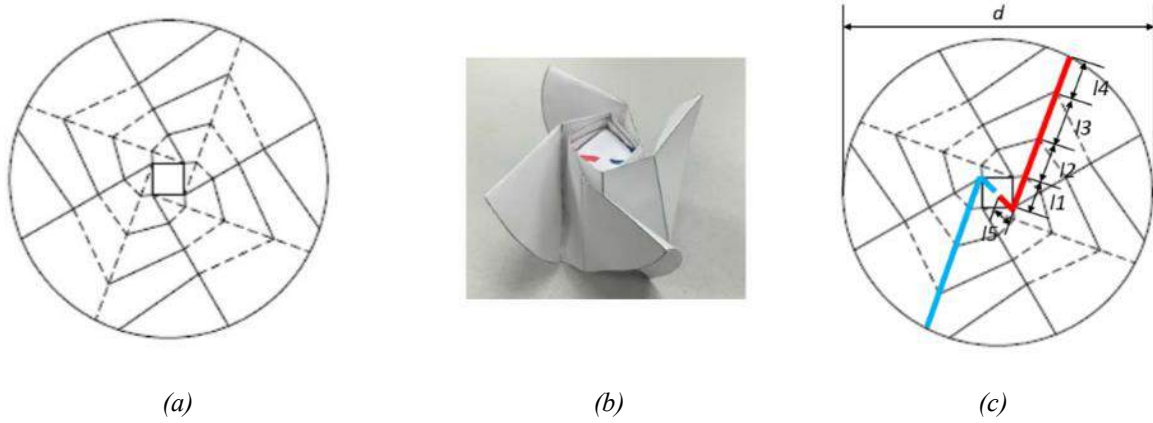
2.1 Origami Elektronik ve Origami Antenler

Origami tekniği robotlar, enerji panelleri, teleskopik lensler arasında değişen alanlarda mühendisler tarafından ilgili görülmüştür (Felton ve ark., 2014). Çünkü anten uygulamalarında (Gerard ve ark., 2014; Yao ve ark., 2014), antenin boyutunun yapılandırılması veya performans arttırımını sağlamak için origami geometriler avantaj sağlamıştır. Ayrıca engellenmiş yeniden konfigüre edilebilir bir origami konik spiral anten tasarlanmış ve eksenel ışınmasını iki durum için incelenmiştir (Liu ve ark., 2015). Şekil 1,'de verilen origami anten modelinde 2.07 GHz, 3 GHz ve 4.45 GHz arasındaki çalışma frekansları için yeni bir origami quadrifilar sarmal anten (QHA) sunmuşlardır (Liu ve ark., 2015; Liu ve ark., 2015). Origami reflektör tüm çalışma frekansları için QHA kazancı arttırmak için tasarlanmıştır. Yeniden yapılandırılabilir reflektör ile bu origami QHA tipik simüle gerçekleşen kazanç 2.07 GHz 12.82 dB, 3 GHz (15.13 dB), ve 4.45 GHz'de 15.13 dB bulunmaktadır.



Şekil 1. QHA model origami anteni (Liu ve ark., 2015)

2-mod yeniden konfigüre origami Nojima anten şekil 2’te verilmiştir (Yao ve ark., 2015). Anten katlandığında, bu yön modunu oluşturmakta ve tamamen açılmış olduğunda, çok yönlü olmaktadır. Bu antenin operasyon frekansı katlanmış durumdaki 1.61 GHz ve katlanmamış halde 0.66 GHz dir.



Şekil 2. Nojima model origami anteni

Origami anten yapıları ile RF hasatlayıcı devrelerde performans artırımı ve boyut küçültme amacıyla sistem tasarımı üzerine çalışılmıştır. Tasarımda tüm elektronik tasarım 3D yapı içinde yer almaktadır ve antenler 3D yapının yüzeylerinde bulunarak kablosuz sensör ağı düğümlerinde radyo frekansı (RF) enerjisi hasat uygulamaları için kullanılmıştır (FKimionis ve ark., 2015). [9]. Değişimi sağlayan menteşeler çapraz bir kübik şekil için "origami" tarzında katlanarak mekanik destek sağlamaktadır.

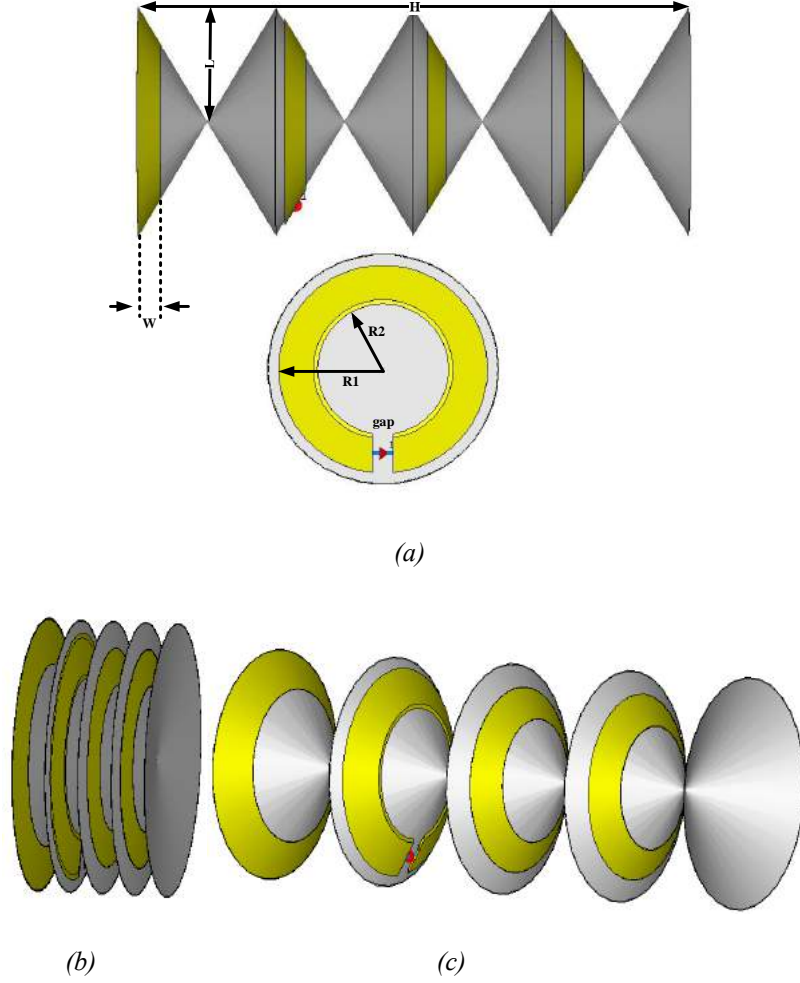
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Origami Anten Tasarımı ve Parametreleri

İlk aşamada anten tasarımının performans parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler; antenin geri dönüş kaybı, ışınma örüntüsü, kazanç ve hüzmeye genişliği başlıkları altında toplanmıştır. Çalışma kapsamında literatürde yaygın olarak kullanılan Yagi-loop ve helis anten tipleri incelenmiştir. Bu antenlerin seçilme nedeni ISM Bant haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmalarıdır. Origami

tekniki ile bu antenler yeniden modellenerek, 2.4GHz ISM bandı uygulamaları için portatif anten modelleri oluşturulmuştur. Tasarımlarda origami yapısı sayesinde katlama-açılma yapısı ile anten boyutunu minimuma indirilmiştir.

Yagi-loop anten geometrik modeli ve tasarım parametreleri Şekil 3' ve tablo 1'de verilmiştir. Katlama-açılma yapısı ile anten boyutu 24mm ile 120mm arasında değişmektedir. Katlama-açılma özelliği sayesinde anten depolama hacmi %80 oranında küçültülmüştür. Böylelikle origami anten yapısı taşınabilirlik, istifleme ve maliyet açısından önemli fayda sağlamaktadır.

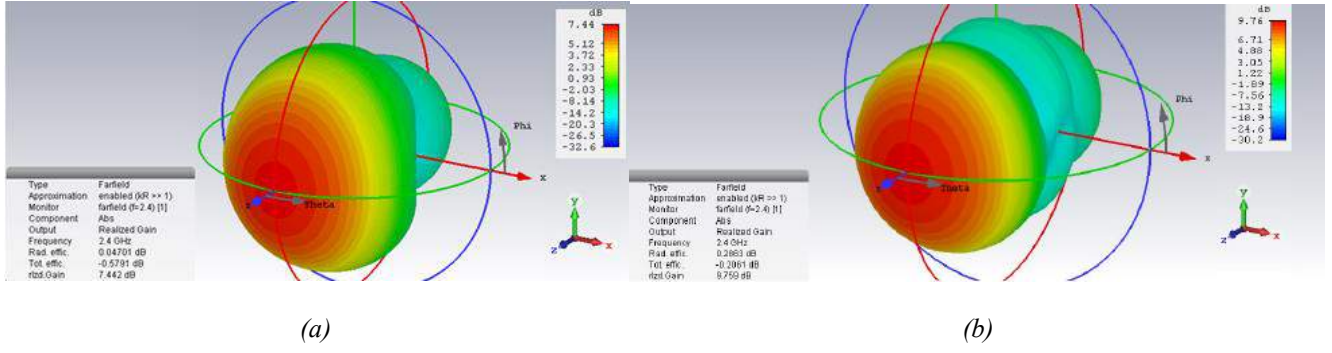


Şekil 2. Origami yagi-loop anten (a) Parametrik gösterimi, (b) Kapalı durumda 24mm, (c) Açık durumda 120mm

Tablo 1. Origami Yagi Loop Anten Parametre Listesi (mm)

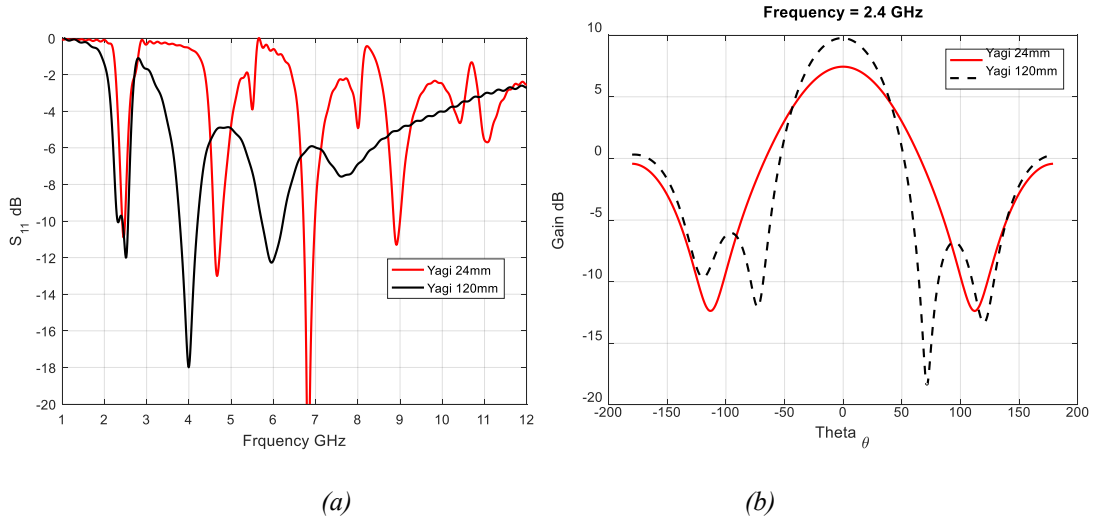
W	5	R1	22.6
L	25	R2	15.1
H	130	gap	4.4

Şekil 4'te tasarlanan antenin 3-boyutlu ışınma örüntüsü verilmiştir. Işınma şekillerinden görüleceği üzere anten ışınması yönlüdür ve katlama /açılma özelliği ile kazanç 2dB artmıştır.



Şekil 4. Origami yagi anten ışına örüntüsü (a) Katlı (24mm) (b) Açık (120mm)

Şekil 5’de tasarlanan birim anten modelinin S_{11} , ışına örüntüsü verilmiştir. Çalışma frekansı 2.4GHz ile de S_{11} değeri -10dB altında, katlı ve açık durumda 7dB ile 9dB olarak elde edilmiştir.

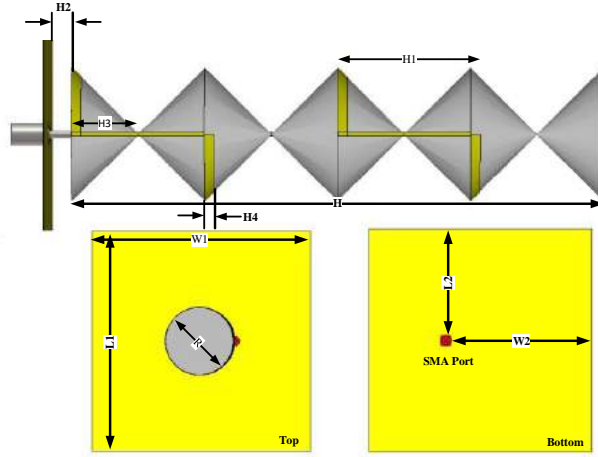


Şekil 5. Origami yagi-loop anten açık durumda (a) S_{11} (b) Işıma Paterni

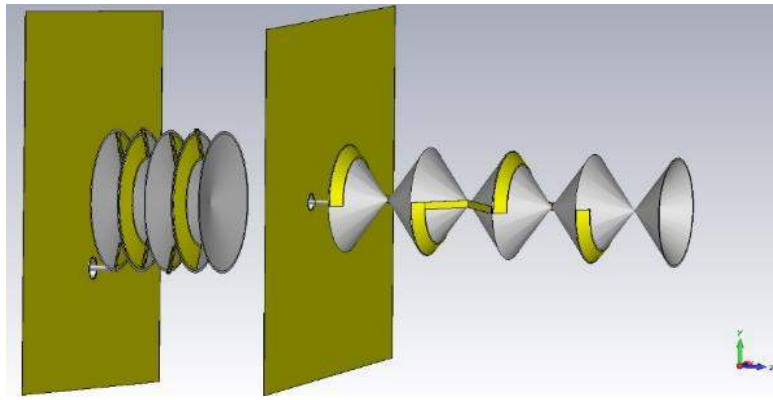
İkinci çalışma olarak ise helis antenin origami tekniği ile modellenmesi ele alınmıştır. Helis Anten geometrik modeli ve tasarım parametreleri Şekil 6’ ve Tablo 2’de verilmiştir. Katlama-açılma yapısı ile anten boyutu 24mm ile 96mm arasında değişmektedir. Katlama-açılma özelliği ile anten depolama hacmi %25’e indirilmektedir.

Tablo 2. Origami Helis Anten Parametre Listesi (mm)

H	120	L1	100
H1	30	L2	50
H2	5.5	W1	100
H3	15	W2	67
H4	2.12	R	30



(a)

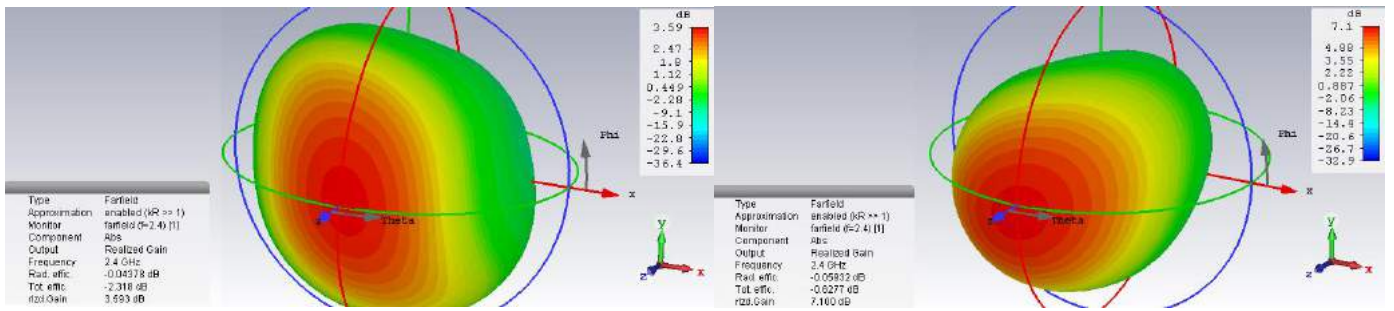


(b)

(c)

Şekil 6.Origami helis anten (a) Parametrik gösterimi, (b) Kapalı durumda 24mm (c) Açık durumda 96mm

Şekil 7’de tasarlanan helis antenin 3-boyutlu ışınma örüntüsü verilmiştir. Işınma şekillerinden görüleceği üzere anten ışınması yönlüdür ve katlama-açılma özelliği ile kazanç 4dB artmıştır.

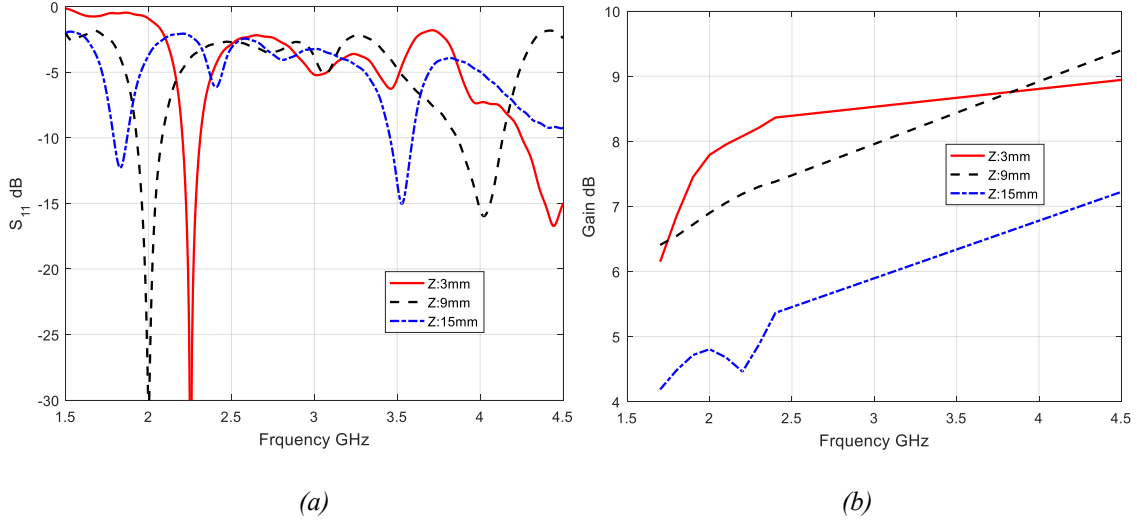


(a)

(b)

Şekil 7.Origami helis anten kazancı (a) 24mm (b) 96mmKazancı

Şekil 8’da tasarlanan birim anten modelinin S_{11} , ışınma pateni verilmiştir. Çalışma frekansı 2.4GHz ile de S_{11} değeri -10dB altında, katlı ve açık durumda kazanç değeri 3dB ile 7dB arasında değişmektedir.



Şekil 8. Origami helis antene ait benzetim sonuçları (a) S_{11} , (b) Kazanç

2.4GHz ISM bandı haberleşme uygulamaları için geri dönüş kaybı S_{11} -10dB altında elde edilmiştir. Anten boyutları %75-%80 arasında katlanması sayesinde ağırlık, taşınabilirlik, istifleme, maliyet, performans, hüzme yönlendiriciliği açısından önemli derecede etki sağlayabilecektir. Katlama ve açılma durumlarında anten kazancının değiştiği gözlenmiş ve anten modeline göre 2dB ile 4dB daha fazla kazanç elde edilmiştir.

4. Sonuç

Ticari ve askeri uygulamalar için küçük boyutlu, hafif ve geniş bantlı anten tasarımları önem kazanmıştır. Bu sebeple origami antenler son yıllarda haberleşme alanındaki ihtiyaçlardan dolayı popüler hale gelmektedir. Bu çalışma kapsamında 2.4 GHz frekans bandı uygulamaları için katlanabilir, yüksek kazançlı origami anten modelleri (Yagi-loop ve Helis) tasarımı yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda antenlerin geri-dönüş kaybı S_{11} -10dB altında elde edilmiştir. Anten boyutları katlanmaları ile %75-%80 oranında küçülebilmektedir. Bu sayede taşınabilirlik, istifleme ve maliyet açısından önemli derecede fayda sağlanacaktır. Bu nedenle antenin katlanma ve açılma kapasitesine sahip olması birçok askeri ve ticari uygulamada avantaj sağlamaktadır. Bu tip antenler kablosuz haberleşmede, medikal cihazlarda, askeri araçlara monte edilen radar sistemlerinde ve uzay platformlarında kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

Kaynakça

- Demaine, E.D., O'Rourke J. (2007). Geometric Folding Algorithms: Linkages, Origami, Polyhedra. Cambridge University Press: New York
- Gerard J. H., Ying L., Jan G., Gianluca L., Michael D. D. (2014). Self-Folding Origami Microstrip Antennas. IEEE Trans. Antennas & Propagation, 62(10), 5416-5419. doi:10.1109/TAP.2014.2346188
- Kimionis J., Georgiadis A., Isakov M., Qi H. J., Tentzeris, M. M. (2015). 3D/inkjet-printed origami antennas for multi-direction RF harvesting. 2015 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Phoenix, AZ, 1-4. doi: 10.1109/MWSYM.2015.7166878
- Felton S., Tolley M., Demaine E., Rus D., Wood R. (2014). A method for building self-folding machines. Science, 345(6197), 644-646. doi: 10.1126/science.1252610
- Yao S., Liu X., Georgakopoulos S. V., Tentzeris M. M. (2014). A novel reconfigurable origami spring antenna. 2014 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI). Memphis, TN, 374-375. doi: 10.1109/APS.2014.6904519
- Yao S., Liu X., Georgakopoulos S. V. (2015). A mode reconfigurable Nojima origami antenna. 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting. Vancouver, BC, 2237-2238. doi: 10.1109/APS.2015.7305507
- Liu X., Yao S., Georgakopoulos S. V. (2015). Reconfigurable origami equiangular conical spiral antenna. 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Vancouver, BC, 2263-2264. doi: 10.1109/APS.2015.7305520
- Liu X., Yao S., Georgakopoulos S. V. (2015). Frequency reconfigurable origami quadrifilar helical antenna with reconfigurable reflector. 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Vancouver, BC, 2217-2218. doi: 10.1109/APS.2015.7305497
- Liu X., Georgakopoulos S.V., Tentzeris M. (2015). A novel mode and frequency reconfigurable origami quadrifilar helical antenna. 2015 IEEE 16th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON), Cocoa Beach, FL, 1-3. doi: 10.1109/WAMICON.2015.7120416



Sağlık Alanında Kullanılan Derin Öğrenme Yöntemleri

Umur Kaya^{1*}, Atıncı Yılmaz², Yalım Dikmen³

^{1*} İzmir Kavram Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Bilgisayar Programcılığı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1410-3444)

²Beykent Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0038-7519)

³İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3122-5099)

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 30 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.573248)

ATIF/REFERENCE: Kaya, U., Yılmaz, A. & Dikmen, Y. (2019). Sağlık Alanında Kullanılan Derin Öğrenme Yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 792-808.

Öz

Uzun süreli tedavi gerektiren kanser ve benzeri hastalıklara yakalanan hastaların ölüm riski yüksektir. Bu riski azaltmak ve hastanın yaşam süresini uzatmak için tıpta, teknolojideki gelişmelerin de kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda hastalığın tedavisi için çok önemli olan erken tanı yöntemlerine odaklanılmıştır. Yapay zekâ, makinelerin insan beyninin çalışmasını taklit ederek karar verme ve tahmin etme gibi çözülmesi zor olan problemlerin çözümüne imkân tanıyan bir bilim dalıdır. Yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenmesi ise kodlanmış olan hazır talimatları kullanarak çözüm üretmek yerine; örneklerden öğrenerek, görüntü, resim ve ses tanıma gibi birçok zor probleme çözüm getirmektedir. Son yıllarda birçok alanda kullanılan makine öğrenmesinin, hastalıkların erken teşhisinde kullanılabilme potansiyeli de bulunmaktadır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar özellikle makine öğrenmesinin bir alt dalı olan derin öğrenme yöntemlerine odaklanmıştır. Bu çalışmanın amacı sağlık alanında uygulanan derin öğrenme yöntemlerinin çalışma prensiplerini ve hangi hastalıklarda kullanıldığını, ilgili literatür ışığında ortaya koymaktır. Bu çalışmanın sonucunda, hastalığın teşhisinde kullanılan verilere uygun derin öğrenme yönteminin tercih edilmesinin, hastalığa erken tanı konma başarısını arttıracığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Erken tanı, yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme

Deep Learning Methods used in the field of Health

Abstract

Patients with cancer and similar diseases requiring long-term treatment have a high risk of death. In order to reduce this risk and extend the life expectancy of the patient, there are studies that use advances in technology in medicine. These studies focused on early diagnosis methods which are very important for the treatment of the disease. Artificial intelligence is a branch of science that allows machines to solve problems that are difficult to solve, such as making decisions and predictions, by imitating the workings of the human brain. Machine learning, which is a sub-branch of artificial intelligence, instead of producing solutions by using ready-coded instructions; learning from examples, it provides solutions to many difficult problems such as image, picture and voice recognition. Machine learning, which has been used in many areas in recent years, has the potential to be used in early diagnosis of diseases. Studies on the subject have focused on deep learning methods, which is a sub-branch of machine learning. The aim of this study is to reveal the working principles of deep learning methods applied in the field of health and in which diseases they are used in the light of the related literature. As a result of this study, it is thought that choosing a deep learning method appropriate to the data used in the diagnosis of the disease will increase the success of early diagnosis of the disease.

Keywords: Early diagnosis, artificial intelligence, machine learning, deep learning

* Sorumlu Yazar: İzmir Kavram Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Bilgisayar Programcılığı, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1410-3444, m.umutkaya@gmail.com

1. Giriş

Uzun süreli tedavi gerektiren hastalıklarda yoğun bakıma ihtiyaç duyan hastalar ayakta tedavi görenlere göre hem daha maliyetli hem de ölüm riski daha yüksek hastalardır. Bu maliyet gün geçtikçe de artmaktadır. Artan bu maliyetler ve ölümler nedeniyle WHO (Dünya Sağlık Örgütü) hastalıklara yakalanmadan önce hastalıktan korunma yöntemlerine dikkat çekmeye çalışmıştır. Bilinçlenmeye rağmen, genetik, çevresel ve diğer faktörler nedeniyle ortaya çıkan hastalık riskine karşı belirli dönemlerde doktor kontrolünden geçmek kaçınılmazdır. Bu kontroller sonucunda elde edilen bulgular hastalıklara yakalanma riskini ortaya koymakta; riskin büyüklüğü ve ortaya çıkma süresinin kısaltılması da erken tanı ile olmaktadır.

Yapılan çalışmalara göre makine öğrenmesi, hastalıkların erken tanısında en çok kullanılan yöntemlerdendir. İnsan yaşamını birçok alanda kolaylaştıran bilgisayarların, günümüzde insan gibi düşünmesini sağlamak için yapılan çalışmalar, makine öğrenimini ortaya çıkarmıştır. İnsan zekâsını taklit etmeye yönelik olan bu öğrenme şekli, yapay zekâ olarak adlandırılmaktadır. Teknolojik anlamda ortaya çıkan bu gelişme, hastalıkların tedavisinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak insanlar ve makineler evrim geçirirken, hastalıklara neden olan aktörler de evrimleşmektedir ve hastalıkları önlemede ya da tedavisinde kullanılan ilaçlara karşı bağışıklık kazanmaktadırlar.

Sağlık alanında uygulanan derin öğrenme yöntemlerinin incelendiği bu çalışmada, derin öğrenmenin tanımı yapılmış ve derin öğrenme yöntemleri açıklanarak, bu yöntemlerin kullanıldığı alanlardan bahsedilmiştir. Daha sonra sağlık alanında kullanılan derin öğrenme yöntemleri tanıtılarak, bu yöntemlerin sağlık alanındaki uygulamalarına değinilmiştir. Sonuç bölümünde ise bu yöntemlerin başarıları tartışılmıştır.

2. Derin Öğrenme

İnsan beyni duyu organları ile elde etmiş olduğu verileri daha önce tecrübe etmiş oldukları örnekler ile karşılaştırarak bunu bilgiye dönüştürür. Elde edilen bilgi insanın anlık karar vermesinde kullanılabilir ya da daha sonraki alacağı kararlarda etkili olabilir. Karmaşık bir yapıya sahip olan beynin karar vermesini sağlayan yapının matematiksel olarak ifade edilmeye çalışılması ile ortaya çıkan yapay zekâ kavramı, beynin çalışmasını anlamaya çalışmakla başlamıştır. İnsandaki sinir hücrelerini taklit ederek makinelerin öğrenme sürecini başlatan yapay sinir ağları daha çok veri ile daha karmaşık problemlerin çözümü için evrimleşerek 21. yüzyılda derin öğrenmeye evrilmiştir.

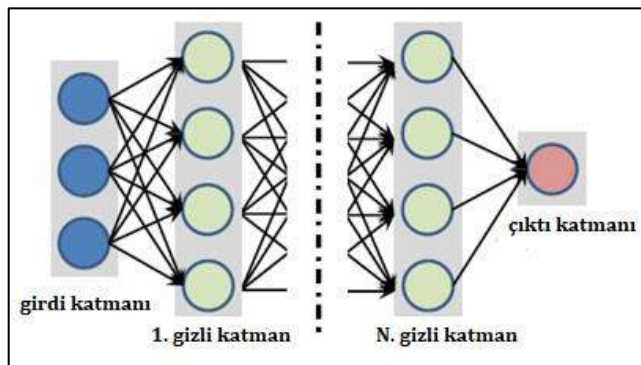
Derin öğrenme; nesne tanıma, konuşma tanıma, doğal dil işleme gibi alanlarda çok katmanlı yapay sinir ağlarını kullanan bir yapay zekâ yöntemi olup makine öğrenmesinin çeşitlerinden biridir. Derin öğrenme, geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerinden farklı olarak kodlanmış kurallar ile öğrenmek yerine; resim, video, ses ve metinlere ait verilerin simgelerinden otomatik olarak öğrenebilmektedirler [1]. Esnek yapıda olduklarından, ham resim ya da metin verisinden de öğrenebilmekte ve verinin büyüklüğüne göre tahmin doğrulukları artabilmektedir. Bununla birlikte derin öğrenme, örnekler üzerinden öğrenme işlemini gerçekleştirmektedir [2]. Makinenin çözmesi istenen bir problem için kural setleri kullanarak çözüme ulaşmak yerine örnekleri değerlendirerek probleme çözüm getirmesini sağlayan bir model verilmesi yeterlidir. Problemin çözümündeki hatayı düzeltebilmesi için de basit bir komut listesi verilerek makinenin öğrenme işlemini gerçekleştirmesi beklenmektedir. Model seçimi, problemin çözümünde etkindir. Probleme uygun olarak belirlenecek model, problemin çözümüne daha fazla katkıda bulunacaktır. Derin öğrenme kavramı ilk kez 2006 yılında Hinton tarafından çok katmanlı yapay sinir ağlarının daha verimli eğitilebileceğinin öne sürülmesiyle ortaya çıkmıştır.

2.1. Derin Öğrenme Yöntemleri

Bu bölümde Derin Sinir Ağları (DSA), Derin Oto-Kodlayıcılar (DOK), Derin İnanç Ağları (DİA), Derin Boltzmann Makinesi (DBM), Yinelemeli Sinir Ağları (YİSA) ve Evrimsel Sinir Ağları (ESA) yöntemlerinden bahsedilmiştir.

2.1.1. Derin Sinir Ağları (DSA)

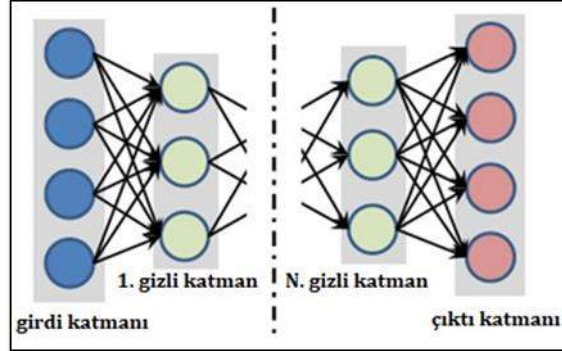
Derin ağ yapısı genellikle sınıflandırma ve regresyon için kullanılmaktadır. İki'den fazla gizli katmana sahip olan yapıdır (Şekil 1). Karmaşık hipotezlerin tanımlanmasını sağlar. Genellikle birçok alanda kullanımında başarılı olunmuştur. Eğitim önemlidir. Çünkü hata değerleri birkaç katman geri yayılırlarsa çok düşük değerlere dönüşmektedirler. Öğrenme süreci zaman alabilmektedir.



Şekil 1. Derin Sinir Ağları [3]

2.1.2. Derin Oto-kodlayıcılar (DOK)

Hinton ve Salakhutdinov tarafından [4] 2006 yılında özellik çıkarımı ve boyut indirgeme için tasarlanmışlardır. Giriş ve çıkış düğümlerinin sayısı aynı olan derin oto-kodlayıcılar, giriş vektörünü yeniden oluşturma amacına dayalı denetimsiz öğrenme yöntemlerindedir (Şekil 2). Eğitim için etiketli veriye ihtiyaç duymayan derin oto-kodlayıcılar daha sağlam bir temsil elde edebilmek için birçok türde geliştirilmiştir. Geliştirilen oto-kodlayıcı yapıları şu şekildedir:



Şekil 2. Derin Oto-kodlayıcılar [3]

Seyrek (Aralıklı) Oto-kodlayıcı: Ranzato ve ark. tamamlanmamış özellikleri öğrenmek için yeni bir denetimsiz yöntem tanımlamışlardır. Evrimsel bir ağın ilk katmanını başlatmak için önerilen denetimsiz yöntemi kullanarak, MNIST veri setinde bildirilen en iyi sonuçtan biraz daha düşük bir hata oranı elde etmişlerdir [5].

Gürültü Temizleyici Oto-kodlayıcı: Vincent ve ark. açık bir kazıma kriteri ile katmanların denetimsiz olarak başlatılmasının, girdi dağılımındaki ilginç yapının yakalanmasına yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir. Bunun da, denetimli sınıflandırma gibi daha sonraki öğrenme görevleri için daha uygun olan orta düzey temsillere yol açtığını söylemişlerdir. Oluşturdukları yapının oto-kodlayıcı eğitiminde kullanılabilirliğini ve bu gürültü temizleyici oto-kodlayıcıların derin mimarileri başlatmak için istiflenebilir olduklarını savunmuşlardır [6].

Çekme gücüne sahip Oto-kodlayıcı: Rifai ve ark. Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP)'u başlatmak için öğrenilen özellikleri kullanarak, bir dizi veri setinde diğer sınıflandırma yöntemlerini aşarak, en gelişmiş sınıflandırma hatasını elde ettiklerini göstermişlerdir [7].

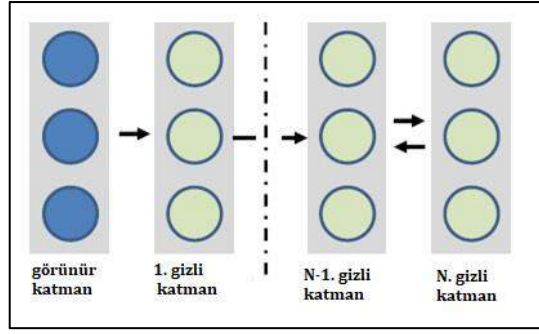
Evrışimli Oto-kodlayıcılar: Masci ve ark. önceki yaklaşımlarda bulunanlarla tutarlı olan, biyolojik olarak makul özellikleri öğrenmek için bir havuz katmanı gerektiğini savunmuşlardır. Bir ESA'nın eğitilmiş bir evrışimli oto-kodlayıcı yığınının filtreleriyle başlatılmasının, rakam (MNIST) ve nesne tanıma (CIFAR10) kriterlerinde üstün performans sağlayacağını iddia etmişlerdir [8].

Derin oto-kodlayıcılarda ön eğitim aşamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Eğitim ayrıca hataların kaybolmasından dolayı zarar görebilmektedir. Bir oto-kodlayıcı sinir ağı, hedef değerleri girdilere eşit olacak şekilde ayarlayan, geri yayılma uygulayan denetimsiz bir öğrenme algoritmasıdır. Oto-kodlayıcı kimlik işlevini öğrenmeye çalışır. Oto-kodlayıcılar, yoğunluk kısıtlaması için gizli ünite sayısını sınırlandırabilirler ya da giriş piksel sayısının fazla olması için seyreklik yetenekleri ile gizli ünite sayısındaki fazlalığa izin verebilmektedirler. Böylece verilerde bulunan farklı yapıları öğrenebilmektedirler. 10×10 görüntü üzerinde bir otomatik kodlayıcı eğitimi durumu düşünüldüğünde, $n = 100$ olur. Her gizli birim i , girişin bir fonksiyonunu denklem (1)'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$a_i^{(2)} = f\left(\sum_{j=1}^{100} W_{ij}^{(1)} x_j + b_i^{(1)}\right) \quad (1)$$

2.1.3. Derin İnanç Ağları (DİA)

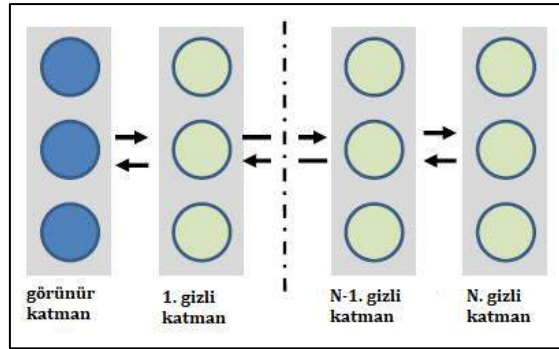
Hinton ve ark. [9] tarafından önerilen derin inanç ağları her bir alt ağın gizli katmanının bir sonraki için görünür katman işlevi gördüğü Kısıtlı Boltzmann Makinesi'nin (KBM) bileşimidir (Şekil 3). En üstteki ilk iki katmanda sadece yönsüz bağlantılar bulunmaktadır. Bu yapı ağın hem denetimli hem de denetimsiz olarak eğitilmesine izin vermektedir. Ağın başlatılması için katman açgözlü öğrenme stratejisi önerilmektedir. En yüksek olasılıklı olan bilgilerin çıkarımı yapılmaktadır. Başlangıç prosedürü ve örnekleme nedeniyle eğitim aşaması hesaplama açısından pahalıdır.



Şekil 3. Derin İnanç Ağları [3]

2.1.4. Derin Boltzmann Makinesi (DBM)

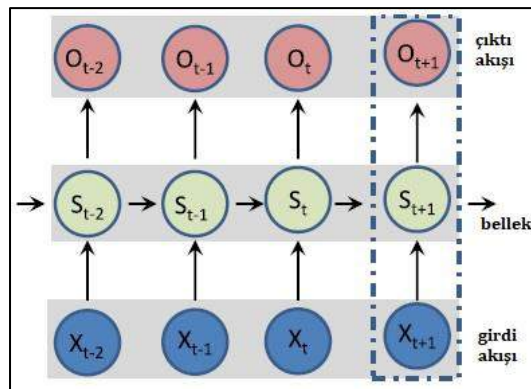
Salakhutdinov ve Hinton tarafından önerilen derin Boltzmann makinesi, Boltzmann ailesine ait başka bir derin öğrenme yaklaşımıdır [10]. Ağın tüm katmanları arasında yönsüz bağlantılara (koşullu bağımsız) sahip bir yöntemdir (Şekil 4). Olasılık alt sınırının en yüksek değerini elde edebilmek için 1999 yılında Younes tarafından önerilen stokastik maksimum olasılık algoritmasını [11] kullanmaktadır. Ağ yapısı belirsiz girdiler ile daha sağlam bir sonuç elde etmek için yukarıdan aşağıya doğru geri bildirim sağlamaktadır. Parametrelerin en iyilemesi büyük veri setlerinde kullanışlı değildir.



Şekil 4. Derin Boltzmann Makinesi [3]

2.1.5. Yinelemeli Sinir Ağları (YİSA)

1989 yılında Williams ve Zipser tarafından önerilen yinelemeli sinir ağları [12] veri akışını analiz edebilen bir sinir ağı yapısına sahiptir (Şekil 5). Bu ağlar çıktının önceki hesaplamalara bağlı olduğu uygulamalar için daha kullanışlıdır. Tüm adımlarda aynı ağırlıkları paylaşan yinelemeli derin sinir Ağları, sıralı olan olayları ezberleyebilmekte ve zaman bağımlılığını modelleyebilme özelliğine sahiptir. Doğal dil işleme uygulamalarında sıklıkla kullanılan bu yöntem bu alanda birçok uygulamada başarılı olmuştur. Eğimin sıfır olması ve ani yükselmesi gibi problemler nedeniyle öğrenmede sorunlar yaşanmaktadır.

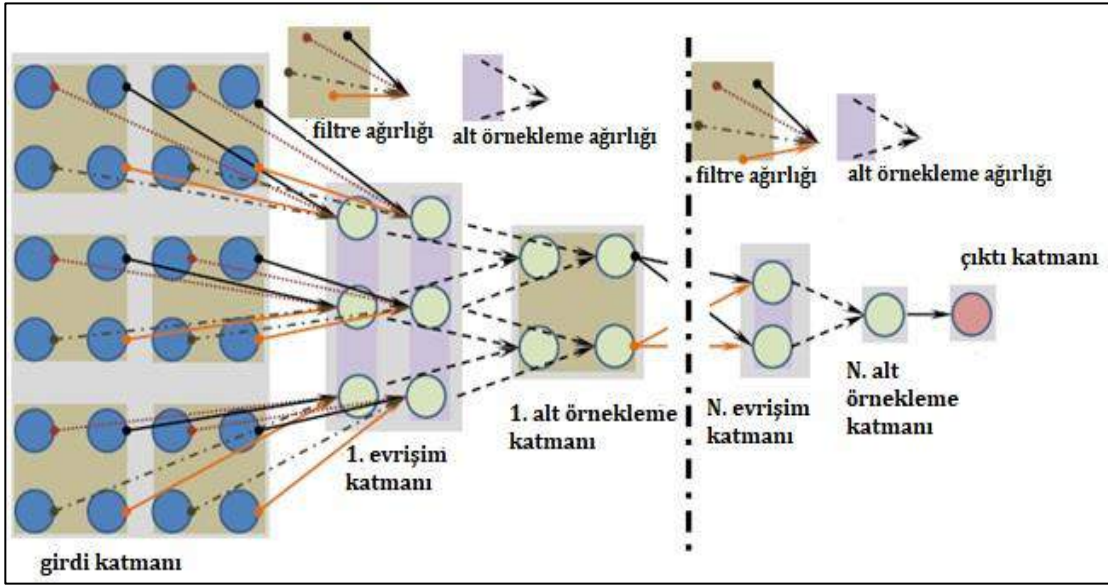


Şekil 5. Yinelemeli Sinir Ağları [3]

2.1.6. Evrişimli Sinir Ağları (ESA)

LeCun ve ark. tarafından 1998 yılında önerilen evrişimli sinir ağları [13] görüntü gibi 2 boyutlu veriler için daha uygundur. Her bir gizli evrişim filtresi, girdisi nöron aktivasyonlarının 3 boyutlu bir çıktısına dönüştürmektedir (Şekil 6). Evrişimli sinir ağları oluşturulurken 1962 yılında Hubel ve Wiesel tarafından ortaya konan [14] görsel korteksin nörobiyolojik modelinden esinlenilerek geliştirilmiştir. Tipik bir sinir ağına göre daha az sayıda nöron bağlantısına ihtiyaç duymaktadır. Evrişimli sinir ağları için birçok farklı model söz konusudur. Krizhevsky ve ark. tarafından görüntü sınıflandırılması için oluşturulan AlexNet [15], Szegedy ve ark. tarafından önerilen [16] Google Net örnek olarak verilebilir. Evrişimli Sinir Ağları görsel niteliklerin arasındaki tüm hiyerarşik yapıyı

bulmak için birden fazla katmana ihtiyaç duyabilmektedir. Genellikle etiketli görüntülerin büyük bir veri kümesine ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 6. Evrişimli Sinir Ağları (ESA) [3]

2.2. Derin Öğrenme Yöntemlerinin Uygulanma Alanları

Derin öğrenme ile ilgili yapılan çalışmalardan eğitim süresinin uzun olması nedeniyle 2006 yılına kadar verim alınamamıştır [17]. 2006 yılında Hinton ve arkadaşlarının DİA'ların eğitimi için önerdikleri hızlı öğrenme algoritması [18] ile derin öğrenmedeki gelişmeler hız kazanmıştır. Bununla birlikte Bengio ve arkadaşlarının derin sinir ağlarının açgözlü katmanlarla eğitimi [19] ile ilgili yaptıkları çalışma ve Ranzato ve arkadaşlarının enerji modelini temel alarak etkin seyrek temsili öğrenme üzerine [5] yaptıkları çalışmalarda derin öğrenme alanında devrim niteliğindedir.

Yapılan bu çalışmalarda temsili zor olan denetimsiz öğrenme ile katmanların eğitimi gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte önceden eğitilmiş olan katmanlar tekrar denetimsiz öğrenme ile de eğitilmektedir. Seviyeler boyunca gerçekleştirilen öğrenmenin sonucu olan gösterim bir sonraki katmanın girdisini oluşturmaktadır. Katmanların ince ayarı içinde denetimli öğrenme modeli kullanılmıştır. Her bir katmanda denetimsiz öğrenme için [19] KBM'lerin kullanılması ile Bengio ve arkadaşları oto-kodlayıcılar ile KBM'leri karşılaştırmışlardır. Ranzato ve arkadaşları [5] evrişimsel mimaride seyrek oto-kodlayıcılar kullanmışlardır.

Derin oto-kodlayıcılar üzerine Hinton ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise [20] veri boyutunu azaltarak açgözlü katmanlara sahip öğrenme modeli kullanmışlardır. Salakhutdinov ve Hinton sınıf komşuluğu yapısını koruyarak doğrusal olmayan gömülü öğrenme [21] ile de açgözlü katman kullanarak öğrenme yöntemini k-en yakın komşuluk (k- nn) sınıflamasına uygulamışlardır.

Le Roux ve Bengio KBM'lerin üstel genişleme özelliği evrensel yaklaşımını kullanarak KBM'lerin ve DİA'ların temsil gücünü ortaya koymuşlardır [22]. Yaptıkları çalışmada Hinton ve arkadaşları tarafından önerilen açgözlü katmana sahip derin öğrenme yaklaşımına KBM'lerin derin modellerin eğitimindeki başarısını öne sürerek önerdikleri modele gizli birimler eklemişlerdir. Bu şekilde daha fazla katmana sahip DİA'ların eğitiminde KBM'lerin kullanılmasıyla yeni bir yöntem ve daha az açgözlü bir öğrenme modeli önermişlerdir.

Sutskever ve Hinton, [23] üssel yaklaşımlı derin inanç ağlarının katman genişliklerinin veri boyutu ile sınırlı da olsa ikili vektörler üzerindeki dağılımları gelişigüzel doğruluk değerlerine yakınlaştırdıklarını göstermişlerdir. Bununla birlikte bu ağların daha kolay ve daha pratik bir şekilde açgözlü öğrenme yaklaşımına olan uygunluklarını ispatlamışlardır.

Ranzato ve arkadaşları ise [24] nesne tanıma uygulamaları için küçük değişiklik ve bozulmalardan etkilenmeyen seyrek özellik detektörleri için sabit özellikli hiyerarşik yapıya sahip denetimsiz öğrenme modeli önermişlerdir. Elde ettikleri özellik çıkarıcının birden fazla evrişim filtresinin uygulanmasından sonra ardışık pencerelerdeki her bir filtrenin çıktının maksimum değerini hesaplayan bir özellik havuzu oluşturu katman ve doğrusal olmayan bir sigmoid fonksiyonu içerdiğini ifade etmişlerdir. İkinci aşamada, daha değişken ve daha büyük özellikler ilk seviye özelliklerin yamalarında aynı algoritma ile eğitilerek elde edilmektedir. Denetimli sınıflandırıcının bu özellikler ile eğitilmesi, MNIST veri tabanında % 0,64 hata ve her bir kategoride eğitilmiş 30 örnek ile Caltech 101 veri kümesinde % 54 ortalama bir tanıma oranı sağlamıştır. Ortaya çıkan mimarinin evrişimsel ağlarla benzerlikleri olduğunu, katmanlı denetimsiz öğrenme sürecinin denetimli öğrenme süreçlerinde yaşanan parametre sorunlarının azaltılmasında ve çok az etiketli eğitim verisiyle iyi bir performans gösterdiğini ifade etmişlerdir. Tablo 1'de derin öğrenme yöntemleri ve kullanıldıkları alanlar görülmektedir.

Tablo 1. Derin öğrenme yöntemleri ve kullanım alanları

Derin Öğrenme Yöntemleri	Derin Öğrenme Yöntemlerinin Kullanıldığı Alanlar
<i>Boltzmann makinesi</i>	Sınıflandırma ve en iyileme
<i>Derin inanç ağları</i>	Sınıflandırma, robotik ve bilgisayar görüşü
<i>Derin ileri beslemeli ağlar</i>	Regresyon, sınıflandırma, tahmin, robotik ve bilgisayar görüşü
<i>Evrişimli sinir ağları</i>	Regresyon, sınıflandırma, robotik ve bilgisayar görüşü
<i>Yinelemeli sinir ağları</i>	Regresyon, sınıflandırma, tahmin, robotik ve bilgisayar görüşü

Derin öğrenmenin birçok alanda uygulamaları vardır. Görüntü ve ses senkronizasyonu [25], fotoğraf çözünürlüğünü artırma [26], gerçek zamanlı kişi konum analizi [27], fotoğraf açıklama [28], fotoğraftaki insanların bakışlarında değişiklik yapma [29], gerçek zamanlı davranış analizi [30], fotoğraflardan yeni fotoğraf oluşturma [31], galaksi ve yanardağ resimleri oluşturma [32, 33] görüntü alanındaki derin öğrenme çalışmalarına örnek verilebilmektedir. Bununla birlikte farklı diller arasında çeviride de derin öğrenme kullanılmaktadır [34]. Biyoloji alanında ise balina ve plankton sınıflandırması için de derin öğrenme kullanılmaktadır [35-38]. Yeni görüntüler oluşturma [39], fotoğraf ve videolardan metin okuma [40] gibi alanlarda da derin öğrenme kullanılmaktadır. Bilgisayar oyunları [41], otonom araçlar [42] ve robotik [43,44] de derin öğrenmenin kullanıldığı alanlardır. Nesne tanıma [45], demografik yapının tahmini [46] ve seçim sonuçlarının tahmini [47] alanlarında da derin öğrenme uygulanmaktadır.

2.2.1. Sağlık Alanında Kullanılan Derin Öğrenme Yöntemlerinin Kullanım Alanları

Bu bölümde sağlık alanında kullanılan derin öğrenme yöntemlerinin kullanım alanları açıklanarak, bu alanlarda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

2.2.1.1. Biyoinformatik Alanında Kullanılan Derin Öğrenme Yöntemleri

Derin öğrenme yöntemleri, kanser teşhisi, gen seçimi ve sınıflandırması, gen çeşitliliği, ilaç tasarımı, bileşim protein etkileşimi, RNA ile protein ilişkisi ve DNA metilasyonu gibi biyoinformatik uygulamalarında kullanılmaktadır. Tablo 2’de biyoinformatik uygulamalarında kullanılan derin öğrenme yöntemleri ve hangi alanda kullanıldıkları gösterilmiştir.

Tablo 2. Biyoinformatik alanında kullanılan derin öğrenme yöntemleri

Biyoinformatik Uygulamaları	Uygulanan Derin Öğrenme Metotları
Kanser teşhisi	<i>Derin oto-kodlayıcılar</i>
Gen seçimi ve sınıflandırması	<i>Derin inanç ağları</i>
Gen çeşitliliği	<i>Derin sinir ağları</i>
İlaç tasarımı	<i>Derin sinir ağları</i>
Bileşim-protein etkileşimi	<i>Derin sinir ağları</i>
RNA ile protein ilişkisi	<i>Derin inanç ağları</i>
DNA metilasyonu	

Sağlık alanında 2013 yılında Fakoor ve ark. nın gen çıkarımı verilerini kullanarak farklı kanser türlerini belirlemek, kanser tanısını ve sınıflandırmasını geliştirmek için derin öğrenme yöntemlerinden DOK yöntemini kullandıkları bilinmektedir. Yaptıkları çalışmada danışmansız özellik öğrenimi yöntemini kullanarak özellik çıkarımı için boyut azaltımı temelli bir yaklaşım belirlemişlerdir [48].

Ibrahim ve ark. [49] elde ettiği deneysel sonuçlar, yaklaşımın hepatoselüler karsinoma (HCC) klasik özellik seçim yöntemlerini % 9, akciğer kanseri % 6 ve meme kanserinde F1 ölçümünde % 10’den daha iyi bir performans gösterdiğini söylemişlerdir.

Khademi ve ark. nın göğüs kanserinin genetik teşhisi için yaptıkları çalışmada, mikro dizimli verilerden özellik çıkarmak ve eksik özellikleri uyarlamak ve gürültüyü gidermek için DİA ile olasılıksal grafiksel modellerden olan Bayes ağlarını birleştirmişlerdir [50]. Tıp uygulamalarında tahmin modelleri oluşturmak için uygun olan meme kanseri prognozu ve tanısı için olasılıksal bir grafik modeli (PGM) önermişlerdir. Kanserinin temelde genetik bir hastalık olduğunu, mikro dizi ve klinik verilerin entegrasyonu, bir öngörü modelinin doğruluğunu artırabileceğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, mikro dizi verileri yüksek boyutlu olduğundan, genomik değişkenler de dâhil olmak üzere, boyut ve küçük örneklem büyüklüğü problemlerinden dolayı yapı ve parametre öğrenmede zayıf sonuçlara neden olabileceğini belirtmişlerdir. Bu problemi, manifold öğrenme ve mikro dizi verisine DİA uygulayarak ele almışlardır. Klinik verilere yapı öğrenme algoritması uygulayarak klinik modelin yapısını otomatik olarak çıkartmışlar ve daha sonra, bu iki modeli softmax düğümlerini kullanarak entegre etmişlerdir. METABRIC ve NKI gibi gerçek dünya veri tabanlarını kullanan kapsamlı deneyler, tümörleri sınıflandırmak ve rekürrens ve metastaz gibi olayları tahmin etmek için destek vektör makineleri (SVM’ler) ve k-en yakın komşuluk (k-NN) sınıflandırıcılarına kıyasla umut verici sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Quang ve ark. [51] genetik varyantların patojenitesini açıklamak için derin öğrenme yaklaşımı kullandıkları çalışmalarında lojistik regresyon, destekli vektör makinesi ve derin sinir ağlarından oluşan 3 farklı modeli karşılaştırmışlardır. Sonuçta SVM, LR ve DSA modellerinin sınıflandırma doğrulukları sırasıyla % 58, 2, % 59, 8 ve % 66, 1’dir. Buna rağmen DSA ’nın doğruluğunun lineer olarak yetersiz olduğunu iddia etmişlerdir. İddialarına dayanak olarak da eğitim verilerinin yanlış etiketlenmiş numuneler ile

şişirilebileceğini ve genomdan rastgele olarak örneklendirilen varyantların işlevsel olmayabileceğidir. Fonksiyonel tahmin için genom analizinde kullanılan örneklerin yetersiz olduğunu ve modelin eğitim için iyileştirmeye ihtiyaç duyulduğunu savunmuşlardır.

Ramsundar ve ark. [52] DSA'ların ilaç keşfi için bir öğrenme çerçevesi sağladıklarını belirtmişlerdir. Çalışmalarında farklı birçok kaynaktan elde edilen biyolojik verileri çok görevli sinir ağı mimarileri ile sentezleyerek ilaç tasarımı yapmaya çalışmışlardır. Bu mimarileri eğitmek için, 200'den fazla biyolojik hedefe yönelik yaklaşık 40 milyon ölçümden oluşan bir veri kümesi oluşturmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre; Kitlesel çoklu görev ağlarının, tek görevli yöntemlerden önemli ölçüde daha iyi bir tahminsel doğruluk değerine sahip olduğunu, çoklu görev ağlarının öngörü gücünün, ek görevler ve veriler eklendikçe arttığını belirtmişlerdir. Toplam veri miktarı ve toplam görev sayısının, çoklu görev geliştirmeye önemli ölçüde katkıda bulunduğunu söylemişlerdir. Çoklu görev ağlarının görevlere sınırlı aktarım sağladıklarını ifade etmişlerdir.

Zhang ve ark. derin ESA kullanarak bebek beyin görüntülerini gruplandırmaya çalışmışlardır. Önerdikleri modelin bebeklerin beyin dokusunun segmentasyonunda daha önce kullanılan yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir[53].

Tian ve ark. [54] bileşik protein etkileşimlerini (CPI) tahmin için DSA kullanmışlardır. Derin öğrenmeye dayalı CPI tahmini için DL-CPI olarak adlandırılan bir yöntem önermişlerdir. Küçük bir veri kümesi üzerinde eğitilen DSA modeli ile hiperparametreleri elde etmişlerdir. Bu hiperparametreler bileşik protein tahmini ve DSA modelinin daha büyük veri setlerindeki eğitimleri için önem taşımaktadır. Çoklu performansı dikkate alarak kullanılmakta olan tahmin yöntemleri ile önerdikleri DL-CPI yöntemini karşılaştırdıklarında, DL-CPI yönteminin genellikle diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Angermueller ve ark. [55] tek hücreli DNA metilasyonunun doğru tahmini için derin öğrenmeye dayalı bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntemi, tek hücre DNA metilasyon verileri üzerinde, alternatif sıralama protokolleri kullanılarak oluşturulan beş farklı hücre tipinde değerlendirmişlerdir. Bu yöntem, önceki yöntemlerden önemli ölçüde daha doğru tahminler vermiştir.

2.2.1.2. Medikal Görüntüleme Kullanılan Derin Öğrenme Yöntemleri

3 Boyutlu beyin rekonstrüksiyonu, nöral hücre sınıflandırması, beyin doku sınıflandırması, Alzheimer teşhisi, doku sınıflandırması, organ bölütlemesi, hücre kümeleme, iç kanama tespiti ve tümör tespiti derin öğrenme yöntemlerinin kullanıldığı medikal görüntüleme uygulamalarıdır. Tablo 3'te medikal görüntüleme alanında kullanılan derin öğrenme yöntemleri ve hangi alanlarda kullanıldıkları gösterilmiştir.

Tablo 3. Medikal görüntüleme kullanılan derin öğrenme yöntemleri

Medikal Görüntüleme Uygulamaları	Uygulanan Derin Öğrenme Metotları
3 Boyutlu beyin rekonstrüksiyonu Nöral hücre sınıflandırması Beyin doku sınıflandırması Alzheimer teşhisi	Derin oto-kodlayıcılar Evrışimli sinir ağları Derin inanç ağları Derin sinir ağları
Doku sınıflandırması Organ bölütlemesi Hücre kümeleme İç kanama tespiti Tümör tespiti	Evrışimli derin inanç ağları Evrışimli sinir ağları Derin oto-kodlayıcılar Derin sinir ağları

Shan ve Li [56] göz içinin arka bölümünün (fundus) görüntülerindeki mikro anevrizmanın otomatik olarak tespiti için iki katmanlı yığılmış seyrek otomatik kodlayıcı modeli önermişlerdir. Önerdikleri modelde, piksel seviyesinden itibaren yüksek seviyedeki özellikleri elde edebilmek için denetimsiz öğrenme yöntemini kullanmışlardır. Bir modelde ikili sınıflandırma Lojistik regresyon ile gerçekleştirilebilmektedir. Ancak modelin daha fazla sınıf etiketine ihtiyaç duyduğu durumlarda Lojistik regresyonun, genelleştirilmiş hali olan softmax algoritması denetimli öğrenme yöntemlerinde kullanıldığı gibi, derin öğrenme yöntemleri ile birlikte denetimsiz özelliklerin öğrenilmesinde de kullanılabilir.

Softmax yöntemi ikiden fazla sonucun olduğu rakam tanıma probleminde rakamları ayırt etmede başarılıdır. Softmax sınıflandırıcısı yüksek seviyeli özellikleri kullanarak fundustaki bozukluk veya hasarları görüntülerden tespit edebilmektedir. Herhangi bir ön işlem yapılmadan doğrudan ham görüntü parçalarının öğrenilmesinde önerdikleri model başarılı olmuştur. Bununla birlikte, kullanılan softmax sınıflandırıcısı yamalar arasındaki ayırt edici özelliklerin otomatik olarak çıkarılmasında iyi bir performans göstermiştir. İnce ayarın sınıflandırma performansına olumlu bir katkı yaptığını belirtmişlerdir. 10 kat çapraz doğrulama kullanarak test ettikleri modellerinde ince ayar işleminin kullanılması sonucunda ROC eğrisi altında ortalama (AUC) % 96,2' lik bir alan elde etmişlerdir. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) vücut içerisindeki organ ve dokulara ait ayrıntılı görüntüler ortaya çıkarmak için manyetik alan içerisinde radyo frekansları kullanılarak uygulanan bir tanı yöntemi olarak ifade edilmektedir. Tüp şeklinde geniş miknatıslara sahip olan MRG cihazından yayılan radyo dalgaları tarafından oluşturulan kesitler bu cihazın ekranında biriktirmektedir. Kesitlerin birikmesi ile oluşan görüntüler farklı açılardan incelenebilecek 3 boyutlu görsellere dönüştürülebilmektedir. Mansoor ve ark. [57] MRG dizisi ve derin öğrenme tarafından yönlendirilen AVP (Ön görsel yol segmentasyonu) için tam otomatik bir bölünmüş şekil modeli önermişlerdir. AVP segmentasyonunda şekil modelini yönlendirmek için MRG dizilerinden öğrenen bir derin öğrenme yöntemi olarak yığılmış otomatik kodlayıcı (SAE) tabanlı bir derin öğrenme modeli önermişlerdir. Önerdikleri model, 165 pediatrik denekten elde edilen MRG dizileri üzerinde değerlendirilmiştir. AVP 'nin tamamının segmentasyonu için bir kez dışarıda bırakma doğrulaması kullanmışlar ve ortalama 0.779 zar benzerlik katsayısı elde etmişlerdir. Sonuçlar, önerilen yerleştirilmiş şeklin ve

seyrek görünümüne dayalı öğrenme yaklaşımının mevcut son teknoloji yaklaşımlarını önemli ölçüde geride bıraktığını ve manuel kadar sağlam olduğunu göstermiştir.

Nie ve ark. glioma adı verilen beyin tümörünün erken teşhisi için yaptıkları çalışmada yüksek dereceli glioma hastalarının ameliyat öncesindeki çok modlu beyin görüntülerinden otomatik özellik çıkarımı yapabilmek için derin öğrenme yöntemini kullanmışlardır. Özellikle, 3 boyutlu ESA'yı benimsemiş ve çok kanallı veri ve danışmanlı özellik öğrenme ile yeni bir ağ mimarisini önermişlerdir. Klinik özelliklere odaklı, hastanın sağ kalım süresini öngörmek için destekli vektör makinesinde eğitim yapılmıştır. Kullandıkları yöntem % 89,9 doğruluk değeri elde etmiştir. Çok modlu beyin görüntülerinden öğrenilen özelliklerin doğru zaman tahmininde önemli bir rolü olduğunu ortaya koymuşlardır [58].

Kleesiek ve ark.[59] derin MRG görüntülerinden beyin çıkarımı yapmaya çalışmışlardır. Kafatası sıyırma için 3 boyutlu ESA kullanmışlardır. İkili maskeleri üretmek için kesme eşliğinin ESA'nın olasılık çıktısından üretilmesinin, yöntemin hassasiyetini arttırmak için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Ancak bunun özgülüğün azalmasına sebep olabileceğini ve uygulamaya özel olarak karar verilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Optimize edilmiş bir GPU uygulaması kullanarak tahminlerin bir dakikadan daha kısa sürede gerçekleştirilebileceğini ve önerilen yöntemin, büyük ölçekli çalışmalar ve klinik denemeler için faydalı olabileceğini söylemişlerdir.

Jiang ve ark. görüntülerde ön işleme yapabilen ve somatik hücre kaynağındaki sinir öncü ve sinir öncü olmayan hücreleri sınıflandırabilen ESA temelli yeni bir tanıma sistemi önermişlerdir. Puleripotent kök hücreleri, sınırsız çoğalma yeteneğine sahip, embriyonik kök hücre olarak da bilinen bütün organ ve dokulara dönüşebilen rejeneratif tıp için önemli olan, gelişen embriyoda ektoderm hücreleri tarafından oluşturulan iç hücre kitlesidir. Elde ettikleri deneysel sonuçlar ile önerdikleri sistemin uyarılmış puleripotent kök hücreleri ve sinir öncü hücrelerinden ilaç üretilmesi ile ilgili araştırmalarda kullanılacak yeni bir araç sağladığını kanıtlamışlardır [60].

Havaei ve ark. MRG görüntülerinden fokal beyin patolojisi segmentasyonu için GPU destekli ESA uygulamasını medikal görüntüleme için kullanmışlardır [61]. Yöntemleri başarılı sonuçlar elde etmiştir. Oluşturulan ESA modelinde İlk satırda, iki yollu ESA bulunmaktadır. Girdi yaması, her biri yerel bir ağdan oluşan iki ağ ve global bir yol üzerinden geçmektedir. Yerel ve küresel yollardaki özellik haritaları sarı ve turuncu renkte gösterilmektedir. İkinci satırda art arda girdili ESA bulunmaktadır. Sınıf olasılıkları iki yollu ESA tarafından üretilen ikinci bir ESA modelinin girdisi ile birleştirilmektedir. Üçüncü satırda, kademeli girdili ESA kullanılarak tam görüntü tahmini yapılmaktadır.

Suk ve ark. [62] Derin öğrenme yoluyla nöro görüntüleme yöntemlerinden üst düzey gizli ve paylaşılan özellik gösterimi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Özellikle, 3 boyutlu bir yamayla gizlenmiş hiyerarşik özellik gösterimini bulmak için bir yapı bloğu olarak KBM'ye sahip derin bir ağ olan Derin Boltzmann Makinesini (DBM) kullanmışlardır. Çok modellen bir DBM ile eşleştirilmiş MRG ve PET (Pozitron emisyon tomografisi) yamalarından ortak özellik gösterimi için sistematik bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerilen yöntemin etkinliğini doğrulamak için, ADNI (Alzheimer Hastalığı Nöro Görüntüleme Girişimi) veri kümesi üzerinde deneyler yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları son teknoloji yöntemlerle karşılaştırmışlardır. AD (Alzheimer hastası) ve sağlıklı (Normal Kontrol) NC, MCI (Hafif bilişsel bozukluk) ve NC, MCI dönüştürücü ile MCI dönüştürücü olmayan üç ikili sınıflandırma problem üzerinde çalışmışlardır. Eğitimli modelin görsel incelemede diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini ve sırasıyla% 95,35, % 85,67 ve % 74,58 oranlarında maksimum doğruluk değerini elde ettiğini ifade etmişlerdir.

Kuang ve He [63] dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğunu (ADHD) araştırmışlardır. Kamuya açık veri setinde ADHD verilerinin özelliklerine göre yapıyı ve parametreleri ayırt etmek için derin öğrenme modellerinden biri olan DSA 'i özellik ve sınıflandırma için kullanmıştır. Denekleri kontrol, kombine, dikkatsiz veya hiperaktif gibi frekans özelliklerine göre tahmin etmişlerdir. Sonuçlar, diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında büyük ölçüde iyileşme sağlamıştır. Uyguladıkları derin öğrenme yönteminin ADHD 'nin (Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) fMRG verileri ile ayırt edilmesinde ilk kez kullanıldığını iddia etmişlerdir.

Li ve ark. Alzheimer hastaları ile hafif bilişsel bozukluk hastalarının teşhisi için yaptıkları çalışmada dayanıklı ya da sağlam olarak ifade edilen Derin Öğrenme yöntemini geliştirmişlerdir. Uyguladıkları yöntem diğer derin öğrenme metotlarına göre % 5.9 oranında doğruluk sınıflandırmasında daha iyi sonuç vermiştir [64].

Fritscher ve ark. [65] çalışmalarında, 3 boyutlu tıbbi görüntülerin hızlı segmentasyonu için ESA kullanmışlardır. ESA modelinde girdi olarak görüntü yamalarının kullanmalarının yanı sıra, şekil ve konum bilgisini ESA eğitimi için yoğunluk bilgisi ile birleştiren ortogonal yamalar da kullanmışlardır. Bu amaçla, baş-boyun bölgesi için BT (Bilgisayarlı Tomografi) veri kümesi kullanılmış ve sonuçları diğer atlas ve model tabanlı yaklaşımlar ile karşılaştırmışlardır. Sunulan yaklaşımın tamamen otomatik ve hızlı olduğunu, bununla birlikte belirli anatomik yapılarla sınırlı olmadığını öne sürmüşlerdir. Yaptıkları nicel değerlendirmenin iyi sonuçlar verdiğini ve tıbbi görüntülerin bölümlendirilmesinde derin öğrenme yaklaşımları için büyük potansiyel olduğunu söylemişlerdir.

Zhen ve ark. [66] çift ventrikül hacim tahmini için DİA mimarisini kullanmışlardır. Büyük ölçekli derin ağlar tarafından denetimsiz kardiyak görüntü temsili öğrenme ve rastgele ormanlar tarafından doğrudan çift ventrikül hacim tahmini olarak iki ana tam öğrenme aşamasından oluşan genel bir regresyon çerçevesi tanımlamışlardır. Üretken ve ayırt edici öğrenmenin güçlü yanlarından faydalanan önerdikleri yöntemin, daha önceki yöntemlerde kullanılan hastaların iki katı olan hem sağlıklı hem de hastalıklı vakaları içeren 100 denekten oluşan daha geniş bir veri setinde, uzmanlar tarafından hem sol hem de sağ ventrikül için toprak dışına çıkma çapraz onaylama yöntemiyle karşılaştırıldığında yaklaşık 0,92'lik yüksek korelasyonlar ürettiğini ve büyük ölçüde mevcut doğrudan yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir. Bununla birlikte önerdikleri yöntemin, klinik kardiyak fonksiyon analizinde pratik olarak kullanımının yanında, diğer organ hacmi kestirim görevlerine kolayca genişletilebileceğini iddia etmişlerdir.

Brotsch ve Tam [67] mevcut beyin manifoldu öğrenme yöntemlerinden farklı olarak, manifold alanının yerel olarak doğrusal olmasını gerektirmeyen ve önceden tanımlanmış bir benzerlik ölçüsü veya önceden oluşturulmuş bir yakınlık grafiği gerektirmeyen 3 boyutlu beyin görüntülerinin manifoldunu öğrenmek için bir öğrenme modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde, nesne tanıma görevlerindeki başarılarından dolayı son zamanlarda bilgisayarlı görme alanında çok dikkat çeken derin öğrenmeye, katmanlı ağırları DİA kullanan bir makine öğrenme yaklaşımı önermişlerdir. DİA'ların geleneksel olarak çok sayıda eğitilebilir parametre nedeniyle 3 boyutlu görüntüye uygulanmasının aşırı derecede pahalı olduklarını söylemişlerdir. $128 \times 128 \times 128$ çözünürlükteki 3 boyutlu tıbbi görüntülerin DİA'lar için hesaplama açısından daha verimli bir eğitim yöntemi olduğunu göstermişler ve DİA'ların, demografik ve hastalık parametrelerine bağlı olan çeşitlilik modlarını tespit eden düşük boyutlu beyin hacimleri manifoldunu öğrenebildiğini ifade etmişlerdir.

Xu ve ark. servikal displazi tanısı için çok modlu derin öğrenme yöntemi tasarlamışlardır. Düşük seviyeli görüntü verilerini diğer görüntüsüz modeller ile birleştirilebilen bir özellik vektörüne dönüştürmek için ESA kullanmışlardır. Önerdikleri çok modelli yapı, görüntülü ve görüntüsüz yöntemlerden daha iyi tamamlayıcı özellikleri öğrenebilen baştan sona bir derin ağıdır. Servikal displazi tanısı için, geniş bir veri kümesinde % 90 özgüllük, % 87,83 duyarlılıkta, tek bir bilgi kaynağını kullanan ve daha önceki çok modlu yapılardan daha iyi bir performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır [68].

Avendi ve ark. [69] kısa eksenli kardiyak MRG veri setlerinden tam otomatik bir SV (Sol Ventrikül) segmentasyonu aracı geliştirmek ve değerlendirmek için deforme edilebilir modeller ile birlikte derin öğrenme algoritmalarına başvurmuşlardır. Önerdikleri yöntemde MRG veri setindeki SV odasını otomatik olarak tespit etmek için derin evrişimli ağırları, SAE'leri de SV şeklini çıkarmak için kullanmışlardır. Çıkarılan şekli, segmentasyonunun doğruluğunu ve sağlamlığını geliştirmek için deforme edilebilir modellere dâhil etmişlerdir. Toronto, Kanada'daki Sunnybrook Sağlık Bilimleri Merkezi'nden elde edilen MICCAI çevrimiçi olarak kamuya açık olan veri tabanından MICCAI 2009 verilerini kullandıkları SV segmentasyonunun zorluğundan 45 kardiyak MRG veri seti ile yöntemlerini doğrulamışlardır. Kullandıkları yöntemin diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini ve temel gerçeğe mükemmel uyum sağladığını söylemişlerdir. Doğrulama metrikleri, iyi kontur yüzdesi, zar metrik, ortalama dik mesafe ve uygunluk yüzdesi olmak üzere, % 96, 69, 0, 94, 1, 81 mm ve 0, 86 olarak hesaplamışlardır. 79,2-95, % 62, 0,87-0,9, 1,76-2,97 mm ve 0,67-0,78'e göre, sırasıyla diğer yöntemlerle elde edilmiştir.

Yu ve ark. [70] çalışmalarında, doktorların inceleme zamanından tasarruf etmeyi amaçlayan kablosuz kapsül endoskopisi (WCE) görüntüleri için sindirim organlarının sınıflandırma problemini incelemişlerdir. Extreme Learning Machine (ELM) içeren Hibrid bir ESA tarafından WCE sınıflandırma sistemi tasarlamışlardır. Yaklaşımlarında, ESA'ı veri odaklı bir özellik çıkarıcısı olarak seçmişler ve basamandırlanmış ELM 'yi derin ESA sınıflandırma sisteminde geleneksel olarak kullanılan tam bağlantılı sınıflandırıcı yerine güçlü bir sınıflandırıcı olarak yapılandırmışlardır. Ayrıca, ELM 'nin yakınsama ve sınıflandırma kapasitesini denetlemek için yeni bir başlatma kullanmışlardır. Geliştirilmiş WCE görüntü sınıflandırma sistemlerini HESA-NELM olarak adlandırmışlardır. Yaklaşık 1 milyon gerçek WCE imgesiyle yöntemin performansını değerlendirmek için yoğun deneyler yapmışlardır. Önerdikleri yöntem, ortalama % 97.25 sınıflandırma doğruluğu ile geleneksel sınıflandırma metodları ve geleneksel ESA temelli metotla karşılaştırıldığında üstün performans göstermiştir.

Roth ve ark. BT'den elde edilen görüntülerin ESA ile anatomik olarak sınıflandırılması için bir yöntem önermişlerdir. ESA ve veri artırımı kullanarak 1675 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada, % 5,9 anatomiye özel sınıflandırma hatası ve test aşamasında (AUC) 0.998 eğri altında kalan ortalama değere ulaşmışlardır. Bilgisayar destekli tanı uygulamaları için önerdikleri derin öğrenme yönteminin daha güvenilir ve daha doğru sınıflandırma konusunda geliştirilecek yöntemler için başlangıç olabileceğini belirtmişlerdir [71].

Grinsven ve ark, medikal görüntü analizi için kullanılan ESA eğitimini geliştirmek ve hızlandırmak için eğitim esnasında sınıflandırılmayan olumsuz örnekleri dinamik olarak seçecek bir yöntem önermişlerdir. Eğitim örnekleri ESA'nın güncelliğine göre sınıflandırmaya dayalı sezgisel olarak yapılandırılmıştır. Örnekler ağırlıklandırılarak, bilgi verici örneklerin bir sonraki ESA eğitim yinelemesine dâhil edilmesi sağlanmıştır. Önerilen yöntem, ESA sınıflandırılmayan olumsuz örnekleri dinamik olarak seçimi ile (SES) ve sınıflandırılmayan olumsuz örnekleri dinamik olarak seçimi olmadan (NSES) seçici örnekleme yöntemi ile eğitilmiştir. Renkli fundus görüntülerindeki kanamaların tespitine odaklandıkları çalışmada, iki insan uzman ile karşılaştırıldığında, 170 epoktan 60 epoka kadar azaltılmış bir eğitim süresi, her iki veri setinde alıcı işletim karakteristiği eğrisi altında 0.894 ve 0.972 değerine sahip alanlar elde edilmiştir. SES ESA, bağımsız bir test setinde NSES ESA 'den istatistiksel olarak daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır [72].

Anthimopoulos ve ark. doku içindeki akciğer hastalığının modellerinin sınıflandırılması için ESA temelli bir yapı önermişlerdir. Önerilen yapı, 2×2 çekirdekli ve Leaky ReLU aktivasyonları ile 5 evrişim katmanı, bunu takiben 3 yoğunluk katmanı ve nihai özellik haritalarının boyutunu ortalama havuzlama ile boyut eşitlemeden oluşmaktadır. 120 hastaya ait olan bilgisayarlı tomografi görüntüleri ve hastanelerden türetilen 14696 görüntü yamaları ESA eğitiminde ve değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu problemde kullanılan ilk derin ESA olduğunu iddia etmişlerdir. Yapmış oldukları karşılaştırmalı analiz ile önerdikleri ESA ağının önceki yöntemler karşısında zorlu bir veri setinde daha etkin olduğunu ispatlamışlardır. Önerdikleri ESA modelinin % 85,5 sınıflandırma performansına sahip ESA'ların akciğer modellerini analiz etme potansiyelini ortaya koymuşlardır [73].

Cao ve ark, X-ray görüntülerinden tüberküloz sınıflandırması için ESA kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar uyguladıkları ESA yaklaşımının etkinliğini göstermiştir [74].

Chen ve ark. [75] derin sinir ağını (ESA) transfer edilen bir alan oluşturarak, ABD videolarındaki fetal abdominal standart düzlemi (FASP) bulmak için öğrenmeye dayalı bir yaklaşım sunmuşlardır. Düşük seviyeli özelliklere dayanan önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında, yaklaşımları, FASP 'ın karmaşık görünümü temsil edebileceğini ve böylece daha iyi sınıflandırma performansı

elde edilebileceğini savunmuşlardır. Daha da önemlisi, az miktarda eğitim örneğinin neden olduğu aşırı öğrenme sorununu azaltmak için, yeni bir transfer öğrenme stratejisi önermişlerdir. Kapsamlı deneyler sonucunda yaklaşımlarının FASP lokalizasyonu için en gelişmiş yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. ESA'yı yalnızca sınırlı ABD eğitim örnekleri üzerinde eğitmişlerdir. Önerdikleri yaklaşım, derin ESA'dan faydalanırken üst düzey özellikleri temsil etmek için genellikle yetersiz eğitim örneklerinden muzdarip olan diğer benzer tıbbi görüntü hesaplama problemlerine kolayca genişletilebileceğini iddia etmişlerdir.

Shin ve ark. [76] görüntü tanımadaki ESA'ların kayda değer ilerlemelerinden bahsederken, tıbbi görüntüleme alanında ImageNet kadar kapsamlı bir şekilde açıklanmış veri setleri elde etmenin zorluklarından bahsetmiştir. ESA'larını tıbbi görüntü sınıflandırmada başarıyla kullanan üç ana teknik olduğunu söylemişlerdir. Bunları, sıfırdan ESA ağını eğitmek, eğitilmiş sinir ağının özelliklerini kullanmak ve denetimli ince ayarlarla denetlenmemiş ESA'nın ön eğitiminin yapılması şeklinde ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, doğal görüntü veri setinden tıbbi görüntüler için önceden eğitilmiş ESA modellerinde ince ayar yapılması olarak bilinen transfer öğrenmesine dikkat çekmişlerdir. Yaptıkları çalışmada bilgisayar destekli algılama problemlerinin çözümü için derin ESA 'leri kullanmışlardır. Farklı ESA mimarilerini incelemişlerdir. Katman sayısına göre parametre sayılarının değiştiği incelemiş oldukları modellerin, 5000 ile 160 milyon parametre arasında değişen sayıda parametre içerdiklerini ifade etmişlerdir. Mekânsal görüntü bağlamının ve veri kümesi ölçeğinin performans üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. İnce ayar kullanarak önceden eğitilmiş ImageNet 'ten ince ayar yoluyla transfer öğrenmesinin ne zaman ve neden yararlı olabileceğini incelemişlerdir. Torakoabdominal lenf nodu tespiti ve interstisyel akciğer hastalığı sınıflandırması olmak üzere iki bilgisayar destekli algılama problemi üzerinde durmuşlardır. Kapsamlı deneysel değerlendirmelerinin, ESA model analizlerinin diğer tıbbi görüntüleme görevleri için yüksek performanslı bilgisayar destekli görüntüleme sistemlerinde kullanılabilmesini öne sürmüşlerdir.

Tajbakhsh ve ark. [77] uygun bir yakınsama sağlamak için büyük miktarda etiketli eğitim verisi ve çok fazla uzmanlık gerektiren derin sinir ağının sıfırdan eğitiminin zorluğu ile ilgili soruna dikkat çekmeye çalışmışlardır. Bunun için önceden eğitilmiş derin ESA'lerin yeterli ince ayar ile sıfırdan eğitim ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını araştırmışlardır. Bunun için üç farklı görüntüleme yönteminden sınıflandırma, tespit ve bölümlenme içeren üç uzmanlıkta radyoloji, kardiyoji ve gastroenteroloji dört ayrı tıbbi görüntüleme uygulamasını göz önünde bulundurmuşlardır.

Derin ESA'ların performansını, önceden eğitilmiş ESA'ların katman bazında ince ayarlanmış olanların performansı ile karşılaştırmışlardır. İnce ayarlı ESA'ların eğitim setlerinin boyutuna sıfırdan eğitilenlere göre daha dayanıklı olduklarını gözlemlemişlerdir. Sığ ya da derin ayarın belirli bir uygulama için en uygun seçenek olup olmadığı ile ilgili bir sonuca varamamışlardır. Katmanlı ince ayar şemalarının, eldeki uygulama için mevcut verilere göre en iyi performansa ulaşmanın pratik bir yolunu sunabileceğini savunmuşlardır.

Yan ve ark. [78] görüntü sınıflandırması için birçok aşamadan oluşan bir derin öğrenme çerçevesi tasarlamış ve bunu vücut tanıma görüntülerine uygulamışlardır. Önerdikleri model ile görüntü sınıflandırma sorunu için ayrımcı ve bilgilendirici olmayan yerel bölgeleri keşfetmeyi ve yerel bölgelere dayalı görüntü düzeyinde bir sınıflandırıcı öğrenmesini hedeflemişlerdir. İki aşamalı öğrenme olarak tanımladıkları bu yapıda eğitim öncesi aşamada eğitim dilimlerinden en ayırt edici ve bilgilendirici olmayan yerel yamaları çıkarmak için çok örnekli bir öğrenme şeklinde ESA ağını öğretmeye çalışmışlardır. Yükseltme aşamasında ise önceden öğrenmiş olan ESA, görüntü sınıflandırması için bu yerel yamalar tarafından daha da güçlendirilmiştir. Ayrımcı yerel görünümünden yararlanarak öğretilen ESA modelinin, küresel görüntü bağlamından öğrenilenden daha doğru hale geldiğini gözlemlemişlerdir. Kullandıkları yöntemin en önemli özelliğini çok yönlü derin öğrenme yoluyla ayrımcı ve bilgilendirici olmayan yerel yamaları otomatik keşfetmesi olarak ifade etmişlerdir. Yöntemlerini sentetik bir veri seti ve büyük ölçekli bir BT veri seti ile doğrulamışlardır. Yöntemlerinin, standart derin ESA de dâhil olmak üzere, modern yaklaşımlardan daha iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir.

Greenspan ve ark. [79] yaptıkları çalışmada derin öğrenmenin desteklediği teknoloji ve uygulamaları incelemişlerdir. ESA'lerin çok çeşitli bilgisayarlı görme görevlerindeki başarılarına dikkat çekmişlerdir. Derin ESA'ların ham verilerden otomatik olarak elde edilen orta seviye ve yüksek seviye soyutlamaları öğrendiklerini söylemişlerdir. Sonuç olarak ESA'ların vasıtasıyla oluşturulan tanımlayıcıların doğal görüntülerde nesne tanıma ve yerelleştirmede son derece etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Tıbbi görüntü analizinde de her geçen gün ESA ve derin öğrenme yöntemlerinin kullanımının arttığını belirtmişlerdir.

Cheng ve ark [80] sınır bölümlendirmesi gibi yanlış görüntü işleme sonuçlarının neden olduğu olası hataları önleyerek, benign ve malign nodüllerin ve lezyonların ayrımcı tanısı için derin öğrenmeye dayalı bilgisayar destekli tanı (CADx) hakkında kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çoğu geleneksel CADx algoritmasında olduğu gibi, daha az dayanıklı bir özellik setinden kaynaklanan sınıflandırma yanlışlığının önüne geçmeye çalışmışlardır. Yığın gürültü arındırıcı oto-kodlayıcıyı (SDOK), meme ultrason lezyonları ve akciğer BT nodüllerindeki farklılıklarını incelemek için kullanmışlardır. SDOK mimarisini, otomatik özellik arama mekanizması ve gürültü toleransı avantajı ile donatmışlardır. SDOK tabanlı CADx 'in konvansiyonel şemaya göre üstünlüğünü göstermek için diğer CADx algoritmaları ile karşılaştırmışlardır. 10 kat çapraz doğrulama yaptıkları SDOK tabanlı CADx algoritmasının iki geleneksel yöntem üzerinde önemli artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, derin öğrenme tekniklerinin, CADx sistemlerinin tasarım paradigmasını açık tasarım ve problem odaklı özelliklerin seçilmesine gerek kalmadan değiştirebileceğini söylemişlerdir.

Kondo ve ark. [81] temel bileşen regresyon analizi kullanarak, çok katmanlı Grup verisi işleme yöntemini (GMDH) içeren sinir ağı algoritmasını, karaciğer ve dalak gibi organları tanıma problemlerine uygulamışlardır. Temel bileşen regresyon analizini birçok gizli katmanlı olan derin sinir ağındaki ağırlıkların öğrenme algoritması olarak kullanmışlardır. Derin sinir ağının birçok gizli katmana sahip mimarisini, Akaike 'nin bilgi kriteri (AIC) veya Tahmin Edilen Kareler Toplamı (PSS) olarak tanımlanan tahmin hata kriterini en aza indirmek için sezgisel özyönetim metodunu kullanarak otomatik olarak düzenlemişlerdir. Sezgisel özyönetim metodunu evrimsel hesaplamaların bir türü olarak belirtmişlerdir. Sinir ağının mimarisinin birçok gizli katmana sahip olmasının, GMDH tipi sinir

ağında birçok eş doğrusallık oluşmasına neden olduğunu ve bunun da tahmin değerlerini kararsızlaştırdığını ifade etmişlerdir. Ancak yaptıkları çalışmada oluşturdukları GMDH tipi sinir ağlarında çok eş doğrusallığın oluşmadığını ve böylece daha kararlı ve daha doğru tahmin değerleri elde ettiklerini belirtmişlerdir. Önerdikleri bu yeni algoritmayı, karaciğer ve dalağın tıbbi görüntü tanımlarına uygulamışlardır. Karaciğer ve dalak bölgelerinin organize GMDH tarafından otomatik olarak tanımlandığını ve çıkarıldığını belirtmişlerdir. Tanıma sonuçlarını, geri yayılma yöntemi kullanılarak eğitilmiş geleneksel sigmoid fonksiyonlu sinir ağları ile karşılaştırmışlardır. Uyguladıkları GMDH tipi sinir ağları yönteminin abdominal çoklu organların tıbbi görüntülerinin tanınmasındaki problemlerin çözümüne katkıda bulunabileceğini ifade etmişlerdir.

Diğer bir çalışmada ise Kondo ve ark. [82] GMDH tipi sinir ağlarını, temel bileşen regresyon analizini kullanılarak kalp bölgelerinin tıbbi görüntü tanımlarına uygulamışlardır. GMDH tipi sinir ağının, kalp bölgelerinin tıbbi görüntü tanınmasında faydalı olduğunu göstermişlerdir. Bununla birlikte derin GMDH tipi sinir ağı ile sağ ve sol böbreklerin 3 boyutlu tıbbi görüntü tanınmasını [83] yapmışlar ve akciğer kanserinin derin geribildirim GMDH tipi sinir ağı ile tıbbi görüntü teşhisindeki başarısını da göstermişlerdir [84].

Rose ve ark. [85] Derin katmanlı kümeleme yöntemi kullanarak mamografi görüntülerini analiz etmişlerdir. Bu çalışmada, bir radyoloğun dikkatini gerektiren ilgili bölgeleri güvenilir bir şekilde etiketlemek amacıyla bilgisayar destekli tespit için mamogramları bölümlere ayırarak incelemişlerdir. Sınıflandırma, standart bir ileri beslemeli sinir ağı ile birlikte derin bir öğrenme mimarisinin denetimsiz kümelenmesi olan yapı taşları kullanılarak yapılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre, 0,96 görüntü başına yama duyarlılığı ve 0,99 özgüllüğü ile minimum görüntü özelliklerini kullanarak yüksek boyutlu verileri işleyen bir sınıflandırma aracının oluşturulabileceğini ifade etmişlerdir.

Zhou ve ark. [86] hiperspektral görüntülerin (HSI) sağlam özelliklerini elde etmek için bir spektral-uzaysal özellik öğrenmesi (SSFL) yöntemi önermişlerdir. SSN' in spektral ve mekânsal özellik öğrenme operasyonları arasında geçiş yaparak faydalı yüksek seviye özellikleri öğrendiğini ve daha sonra çekirdek tabanlı aşırı öğrenme makinesinin (KELM), görüntü piksellerini sınıflandırmak için SSN 'ye yerleştirildiğini belirtmişlerdir. SSN 'nin etkinliğini doğrulamak için iki temel HSI veri setinde kapsamlı deneyler gerçekleştirmişlerdir. Modern yöntemlerle karşılaştırıldığında, derin bir hiyerarşik yapıya sahip SSN 'nin, özellikle eğitim örneklerinin sayısı az olduğunda, genel doğruluk, ortalama doğruluk ve kapp (κ) katsayısı bakımından daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde ettiğini göstermişlerdir.

Lerouge ve ark. [87] görüntü etiketleme problemini çözmek için Girdi çıkışı derin mimari (IODA) adı verilen derin bir sinir ağı (DSA) mimarisi önermişlerdir. IODA 'nın bütün bir görüntüyü etiketli bir haritanın tamamına doğrudan bağladığını ve tek bir sinir ağı ileri adımı kullanarak her piksele bir etiket atadığını belirtmişlerdir. IODA 'nın özgünlüğünü, DSA giriş ön eğitim öncesi kolaylığını, etiketlerin üst düzey bir gösterimini öğrenmek için çıkış alanına aktarmak olarak ifade etmişlerdir. Özellik tasarımı veya çıkış kodlaması gibi herhangi bir ön işleme gerek kalmadan, IODA 'nın tam bir sinir ağı çerçevesi içinde hızlı bir görüntü etiketlemesi sağladığını söylemişlerdir.

Wang ve ark. [88] uçtan uca kas ve dağınık bölgeleri tanımlamak için tamamen Evrişimli ağlara (FCN) dayanan yeni bir derin sinir ağı önermişlerdir. İlk olarak, derin sinir ağını eğitmek için sınırlı tıbbi eğitim verisine sahip olmanın zorluklarını ele almışlardır. İkincisi, büyük ölçüde farklı boyutlarda ve keyfi şekillerde hedef bölgeleri ele almak için, önerdikleri derin sinir ağının çok ölçekli bilgileri ve yapısal bilgileri araştırmasını sağlamışlardır. Klinik görüntüler üzerinde yapılan deneysel sonuçlar, yaklaşımlarının, kas ve dağınık bölgelerin semantik bölünmesi için son teknoloji FCN 'den daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamışlardır. Önerdikleri yöntemin çeşitli tıbbi görüntüleme uygulamalarındaki diğer bölgeleri tanımlamak için kolayca genişletilebileceğini iddia etmişlerdir.

2.2.1.3. Medikal Bilişimde Kullanılan Derin Öğrenme Yöntemleri

Hastalık tahmini, insan davranışı izleme, veri madenciliği derin öğrenme yöntemlerinin kullanıldığı medikal bilişim uygulamalarıdır. Tablo 4'te Medikal bilişim alanında kullanılan derin öğrenme yöntemleri ve uygulandıkları alanlar gösterilmiştir.

Tablo 4. Medikal bilişimde kullanılan derin öğrenme uygulamaları

Medikal Bilişim Uygulamaları	Uygulanan Derin Öğrenme Metotları
Hastalık tahmini İnsan davranışı izleme Veri madenciliği	Derin inanç ağları Evrişimli sinir ağları Yinelemeli sinir ağları Evrişimli derin inanç ağları Derin sinir ağları

X Che ve ark. [89] derin öğrenme modellerinin performansını taklit ederken sağlam bir tahmin yapmak için yorumlanabilir fenotip özelliklerini öğrenmede yorumlanabilir mimik öğrenme adı verilen yeni bir bilgi damıtma yaklaşımını ortaya koymuşlardır. Çerçevesi, yığın gürlüğü arındırıcı otomatik kodlayıcı ve uzun kısa süreli bellek gibi derin öğrenme modellerinden yorumlanabilir özellikleri öğrenmek için gradyan ile güçlendirilmiş ağaçları kullanmaktadır. Gerçek dünyadaki klinik zaman serisi veri setindeki kapsamlı deneylerin, yöntemlerinin derin öğrenme modellerinden daha iyi performans elde ettiğini ve klinik karar vermede yorumlanabilir fenotipler sağladığını belirtmişlerdir.

Miotto ve ark. klinik tahminsel modellemeyi çabuklaştıran, elektronik hasta kayıtlarından oluşan verilerden genel bir hasta temsili elde etmek için, danışmansız derin özellik öğrenme yöntemini önermişlerdir. New York 'da bulunan Mount Sinaï hastanesine ait veri ambarındaki 700.000 hastanın elektronik hasta kayıt verilerinin hiyerarşik düzenlerini ve bağımlılıklarını yakalayacak şekilde 3 katmanlı gürlüğü temizleyen oto-kodlayıcı yığını kullanmışlardır. Hastaların çeşitli hastalıklara yakalanma ihtimalini

değerlendirerek sağlık durumlarını geniş ölçüde öngören sonuçları “derin hasta” olarak adlandırdıkları bir gösterim ile ifade etmişlerdir. Farklı klinik alanlardan ve geçici gözetimden 76214 hasta üzerinde 78 hastalık içeren test gerçekleştirmişlerdir. Şiddetli diyabet, şizofreni ve çeşitli kanser hastalıklarının tahmininde daha iyi performans gösteren yöntemleri klinik karar destek sistemlerinin klinik tahminlemenin geliştirilmesinde katkı yapacağını göstermişlerdir [90].

Nie ve ark. [91] seyrek derin öğrenme ile sağlıkla ilgili sorulardan hastalık çıkarımı yapmak için derin öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. Çevrimiçi doktorlar tarafından etiketlenen gerçek dünya veri setinde yapılan kapsamlı deneyler ile kullandıkları yöntemin önemli performans kazanımları olduğunu göstermişlerdir.

Mehrabi ve ark. [92] Rochester Epidemiyoloji projesi verileri üzerinde geçici desen keşfi için derin bir öğrenme algoritması geliştirmişlerdir. Her hastanın kayıtlarını ICD9 ve HCUP CSS tanı kodları ile geçici klinik olayların bir matrisi olarak modellemişler ve tanı kodlarını satırlar olarak ve tanı yıllarını da sütunlar olarak göstermişlerdir. Tanı anında 18 veya daha küçük yaştaki hastaları seçmişlerdir. Her hastanın teşhis matrisi değerleri kullanılarak, görünür düğümlü üç derin katmana sahip derin bir Boltzmann makinesi oluşturmuşlardır. Modelin son ağırlıkları, hasta kayıtları arasında ortak özellikler olarak analiz edilmiştir.

Shin ve ark. [93] Ulusal bir araştırma hastanesinin resim arşivleme ve iletişim sisteminden radyoloji görüntülerinin semantik etkileşimlerini çıkarmak ve raporlamak için harmanlanmış bir metin ve resim derin öğrenme sistemi ortaya koymuşlardır. Doğal dil işleme ile klinisyenler tarafından tanısal referans için seçilen temsili ~ 216K iki boyutlu anahtar imge koleksiyonunu oluşturmuşlar ve görüntüleri otomatik olarak açıklamalarıyla eşleştirmişlerdir. Oluşturdukları model, anlamsız etiketler üretmek ve bunları bir görüntü verisi olarak öngörmek için, belge ve cümle düzeyinde metin koleksiyonlarında denetlenmeyen öğrenme ile denetimli öğrenme arasında birleştirmişlerdir. Taranan hastaya ait görüntüde radyoloji seviyesinde anlamsal bir tahmin yapıldığını ve bununla ilişkili anahtar kelimelerin oluşturulduğunu belirtmişlerdir. Daha belirleyici bir hasta taraması için bir dizi sık hastalık tipi üzerinde durmuşlardır. Bunun, çoğu modern klinik kurumda bulunan elektronik hasta kayıtlarından büyük ölçekli öğrenmenin gerçekleştirilebileceğini ve hastalıkların tahmini için faydalı olabileceğini belirtmişlerdir.

Lipton ve ark. [94] yoğun bakım ünitesinde (YBÜ) klinik tıbbi verileri çok değişkenli zaman serileri olarak ifade etmişlerdir. Her hasta ziyareti için, sensör verileri ve laboratuvar test sonuçlarını hastanın Elektronik sağlık kayıtlarına (EHR) kaydetmişlerdir. Bu kayıtların birçok bilgiyi içerdiğini ancak değişken uzunluk, düzensiz örnekleme ve eksik verilerden dolayı verilerin etkili bir şekilde benimsenmesinin zor olduğunu söylemişlerdir. Tekrarlayan Sinir Ağlarından (YİSA 'ler), Uzun kısa süreli bellek (LSTM) gizli birimlerini kullananların, dizi verilerinden öğrenmede güçlü ve giderek daha popüler hale gelen modeller olduklarını söylemişlerdir. Bu modellerin değişken uzunluktaki dizilerin etkin bir şekilde modellenmesinde ve uzun mesafeli bağımlılıkları elde etmedeki başarılarından söz etmişlerdir. Çalışmalarının, LSTM 'lerin çok değişkenli klinik ölçüm serilerindeki kalıpları tanıma yeteneğini deneysel olarak değerlendirmede ilk olduğunu iddia etmişlerdir. Spesifik olarak, 13 örnek üzerinde 128 tanıyı sık sık fakat düzensiz örneklenmiş klinik ölçümleri sınıflandırmak için bir model eğiterek tanıların çok etiketli sınıflandırma elde etmeye çalışmışlardır. İlk önce, klinik verilerin modellenmesinde basit bir LSTM ağının etkinliğini belirlemişler. Daha sonra, her adımda hedefleri çoğalttıkları basit ve etkili bir eğitim stratejisi benimsemişlerdir. Yalnızca ham zaman serilerinde eğittikleri modellerinin diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini iddia etmişlerdir.

Liang ve ark. sağlık hizmetlerinde kullanılan bilgisayar destekli kural tabanlı karar destek sistemlerinin yetersiz olduğunu öne sürmüşlerdir. Bunun yerine Evrimsel derin inanç ağlarından oluşan bir yöntem önermişlerdir. Yöntemlerini, Çin'de elektronik hasta kayıtlarından manuel olarak dönüştürülmüş medikal teşhis verilerinden ve hipertansiyon verilerinden oluşan geniş ölçekli bir veri seti ile eğitmişlerdir. Deneysel sonuçlar, önerdikleri modelin daha önce bilinmeyen kavramları ortaya koyabildiğini ve geleneksel modellerden daha iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir [95].

Putin ve ark. [96] değişken derinlikli, yapı ve optimizasyona sahip 21 adet DSA içeren modüler bir yapı tasarlayarak temel bir kan testiyle insanın kronolojik yaşını tahmin etmeye çalışmışlardır. DSA 'leri eğitmek için ortak kan biyokimyasından 60.000'den fazla örnek ve tek bir laboratuvar tarafından yapılan ve kronolojik yaş ve cinsiyete bağlı rutin sağlık muayenelerinden hücre sayımı testlerini kullanmışlardır. Oluşturdukları yapıda en iyi performans gösteren DSA, 10 yıllık bir çerçevede kronolojik yaş tahmin ederken % 81,5 doğruluk değerine sahip ve 10 yıllık bir çerçevede içinde kronolojik yaş öngörürken, tüm yapı % 83,5 doğruluk değerini elde etmiştir. Oluşturdukları model, aynı zamanda insanın kronolojik yaşını tahmin etmek için en önemli 5 işaretleyici belirlemişlerdir. Bunları; albumin, glukoz, alkalen fosfataz, üre ve eritrositler olarak tanımlamışlardır. Model yapılarının, kronolojik yaş ve cinsiyete bağlı çok modlu verilerin entegrasyonunu kolaylaştırabileceğini; bunun da insanlarda yaşlanmanın bütünleşmiş biyobelirteçlerini izlemek ve türler arasındaki farklı özelliklerin test edilmesini izlemek için basit, minimal invaziv ve uygun maliyetli yöntemlerin oluşmasını sağlayabileceğini savunmuşlardır.

Futoma ve ark. [97] erken hastane geri kabullerini tahmin etmek için daha önce uygulanmamış ve tipik olarak sağlık literatüründe uygulanan regresyon yöntemlerinden daha iyi performans gösteren birkaç öngörücü modeli açıklamışlar ve bunları karşılaştırmışlardır. Yalnızca ICD kodlarını ve birkaç arka plan değişkenini kullanarak hasta geri kabul riskini değerlendirmede kullanılan modeller oluşturmak için genel bir çerçeveyi vurgulamışlardır. Önerdikleri yöntemi literatürdeki diğerleriyle karşılaştırarak rastgele ormanlar, cezalandırılmış lojistik regresyonlar ve derin sinir ağlarının daha önce bu soruna uygulanan diğer yöntemlerden anlamlı olarak daha iyi tahmine dayalı performans gösterdiğini savunmuşlardır.

Zhao ve ark. Parkinson hastalığının şiddetinin yürüme bilgisinden, özellikle de ayak sensörleri tarafından kaydedilen Dikey Zemin Reaksiyon Kuvveti'nin (VGRF) ardışık verilerinden otomatik olarak derecelendirilmesi için yürüyüş verilerinin ardındaki zamansal kalıpları öğrenmek için LSTM ve ESA'ı birleştiren iki kanallı bir model geliştirmişlerdir. Oluşturdukları modeli kamuya ait üç VGRF veri kümesi ile eğitmiş ve test etmişlerdir. Önerdikleri modelin iyi eğitildikten sonra, öngörülen şiddet, herhangi bir öznel endişesini çözen sensör verilerinden doğrudan elde edilebileceğini savunmuşlardır. Bunun tanı prosedürünü basitleştirdiğini ve daha

fazla kişiselleştirilmiş tedavi sağladığı için beyin cerrahlarına yarar sağlayacağını iddia etmişlerdir. Önerdikleri LSTM modelinin daha fazla veri türünü barındırmak için geliştirilebileceğini, Parkinson hastalığının şiddet düzeylerinin tahmin doğruluğu açısından mevcut olanlardan daha iyi performans gösterdiğini ve Parkinson hastalığının klinik teşhisine katkıda bulunacağını belirtmişlerdir [98].

Purushotham ve ark. 2001 – 2012 yılları arasında, Beth Israel Deaconess Tıp Merkezi'nde yoğun bakım ünitesine kabul edilen tüm hastaları kapsayan (MIMIC-III) kamuya açık veri setini kullanarak mortalite ve yatış süresi için Derin öğrenme modellerinin tahmin performansını incelemişlerdir. Çalışmalarında YİSA temelli bir yapı önermişlerdir. Elde ettikleri sonuçların, derin öğrenme modellerinin, özellikle “ham” klinik zaman serisi verilerinin modellere girdi özellikleri olarak kullanıldığında, diğer tüm yaklaşımlardan tutarlı bir şekilde daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [99].

Davoodi ve Moradi, yoğun bakım ünitelerinde mortalite tahmini için Derin Kural Tabanlı Bulanık Sınıflandırıcı (DRBFS) modelini önermişlerdir. DRBFS'de, her bir üniteye gizli katman, yorumlanabilir bulanık kurallarla temsil edilmektedir. Yığın yaklaşımına göre, aynı giriş alanı DRBFS'nin her temel yapı biriminde tutulmaktadır. Mevcut ana birimin tahmin sonuçlarının rasgele çıkarımlarından elde edilen rasgele kaymalara ek olarak verilen eğitim, bir sonraki ana yapı biriminin girdisi olarak sunulmaktadır. MIMIC-III veri setinden belirlenen 10972 erişkin hastaların% 9,31'i hastanede ölmüştür. Yoğun bakım ünitesinin ilk 48 saatindeki heterojen özellik seti hastane içi mortalite oranı için çıkarılmıştır. Önerdikleri modelde Naive Bayes (NB), Karar Ağaçları (DT), Gradyan Arttırma (GB) gibi birçok sınıflandırıcıyı değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar DRBFS'nin, yorumlanabilir kural tabanlı korurken çeşitli yöntemleri geride bıraktığını göstermiştir. Ayrıca, belirli kümeleme yöntemlerinden faydalanan DRBFS 'in büyük heterojen veri kümeleri için iyi ölçeklendirilebileceğini belirtmişlerdir [100].

Supratak ve ark. Biyomedikal uygulamalarda farklı tiplerdeki biyo-ışaretler ve sinyallerden özelliklerin çıkarılmasında SAE, ESA ve YİSA 'in kullanımlarını incelemişlerdir[101].

Pereira ve ark. el yazısı görüntülerden özelliklerin öğrenilmesi için ESA kullanmışlardır. Ek olarak, bilgisayar destekli Parkinson hastalığı teşhisi ile ilgili araştırmayı desteklemek için görüntülerden ve sinyal tabanlı verilerden oluşan bir veri seti hazırlamışlardır. Önerdikleri yaklaşım, ham veriler ve doku temelli tanımlayıcılarla karşılaştırılmış, temel olarak erken aşama tespiti bağlamında % 95'e varan sonuçlar elde etmişlerdir. Elde edilen dinamiğin derin öğrenme teknikleri kullanılarak analizi, otomatik Parkinson hastalığı tanımlaması için yararlı olduğu kadar el yazısı özelliklerin çıkarımında daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir[102].

Wulsin ve ark. beyin işlevleri ile ilgili klinik EEG dalga formlarından anomali tespiti için yarı-danışmanlı DSA kullanmışlar ve uyguladıkları yöntemin SVM 'den daha başarılı sonuçlar verdiğini iddia etmişlerdir [103].

Hu ve ark. beyin hastalıklarının teşhisinde ve klinik karar desteği sağlamada derin öğrenmenin avantajlarını göstermek için Alzheimer hastalığını çalışmalarında örnek olarak kullanmışlardır. Öncelikle, ham fMRG 90 beyin bölgesine ait aktiviteleri temsil eden bir matrise dönüştürmüşlerdir. Daha sonra, farklı beyin bölgeleri arasındaki fonksiyonel bağlantıyı göstermek için her bir beyin bölgesi çifti arasındaki korelasyonun hesaplanmasıyla bir korelasyon matrisi oluşturmuşlardır. Sonraki aşamada da, Alzheimer hastalığına duyarlı bir korelasyon matrisini sınıflandırmak için Oto-kodlayıcı (AE) bir ağ oluşturmuşlardır. Hastalık tahmini ile ilgili deneysel sonuçlar kullandıkları yöntemin geleneksel yöntemlere göre daha başarılı olduğunu göstermiştir. Alzheimer hastalığının tahmininde güçlü bir referans sağlayan yöntemleri SVM ile karşılaştırıldığında tahmin doğruluğunda yaklaşık % 25 gelişme gösterdiğini gözlemlenmiştir [104].

Pang ve ark. [105] biyomedikal görüntülerin uçtan uca sınıflandırılması için, yüksek stabilite ve kesin doğruluk oranına sahip, derin ESA'ye dayanan bir derin öğrenme yaklaşımı önermişlerdir. Derin bir model oluşturmak için etki alanı aktarılmış derin ESA uygulamışlar ve ardından, denetimli eğitimi kullanarak orijinal biyomedikal görüntülerin ham piksellerine dayanan genel bir derin öğrenme mimarisi geliştirmişlerdir. Modellerinde, özellik alanının manuel tasarımına ihtiyaç duymamışlardır. Sınıflandırıcılarını, kamuya ait biyomedikal veri setlerinde değerlendirmişler ve son teknoloji yaklaşımlarla karşılaştırmışlardır. Önerdikleri modelin biyomedikal görüntüler için sağlam ve otomatik olarak uçtan uca sınıflandırmada başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

3. Sonuç

Sağlık alanında hastalıkların erken tanısında makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanımı artmıştır. Biyomedikal, sağlık biyo-informatiği ve medikal görüntüleme makine öğrenmesi yöntemlerinin en popüler olduğu alanlardandır. Farklı ağ mimarileri ve öğrenme algoritmaları ile büyük verinin analizinde başarılı olan derin öğrenme yöntemleri sağlık alanında da hem hastalıkların erken tanısında hem de hastalığın erken tedavisinde sağlık çalışanlarına yardımcı olacağı görülmektedir. Sağlık alanında bu yöntemlerin kullanılması ölümcül sonuçlara yol açan süreçlerin önceden tahmin edilmesinde ve hastalığın hangi evrede olduğunun belirlenebilmesi için faydalı olacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte derin öğrenme yöntemlerinin hala birçok alanda geliştirilerek kullanımı mümkün değildir. Elbette ki bunda daha önce kullanılan yöntemlere olan güven ve derin öğrenme yaklaşımının birçok alanda olduğu gibi sağlık alanında da tam olarak bilinmemesinden dolayı benimsenmemesi olarak ön plana çıkmaktadır. Bazı araştırmalar derin öğrenme yöntemlerini aldatmacadan ibaret olarak görmekte iken diğerleri ise derin öğrenme için çok büyük veriye ihtiyaç olduğunu ve öğrenme modelinin veriye göre uyarlanmasıyla uygulanan modelin başarısını etkilediğinden bahsetmektedirler. Bu çalışmada derin öğrenme yaklaşımlarının sağlık alanındaki uygulamaları incelenmiştir. Tüm ön yargılara ve elde edilen başarılı sonuçlara rağmen derin öğrenmenin sağlık alanında başarılı olabilmesi için veriye göre uygun model yaklaşımının benimsenmesinin ve farklı derin öğrenme mimarilerinin sağlık alanında kullanımının artmasına bağlı olduğunu söyleyebiliriz. Bu alanda yapılacak çalışmalarda da matematiksel modellemenin önemine vurgu yapmaktayız. Derin öğrenme mimarilerinin temelindeki matematiksel modeller ne kadar iyi anlaşılırsa gelecekte de derin öğrenme yöntemleri o kadar başarılı olacaktır.

Kaynakça

- [1] Kaya U., Yılmaz A. (2019). Derin Öğrenme, 1-2, ISBN:978-605-2118-399.
- [2] Buduma, N. (2015). Fundamentals of deep learning, Copyright © 2015 Nikhil Buduma. All rights reserved. Printed in the United States of America. Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472. November 2015, First edition.
- [3] Ravi, D., Wong, C., Deligianni, F., Berthelot, M., Andreu-Perez, J., Lo, B., Yang, G. Z. (2017). Deep learning for health informatics, in IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 21(1), 4-21.
- [4] Hinton, G. E., Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks, Science, 313(5786), 504–507.
- [5] Ranzato, M., Poultney, C., Chopra, S., LeCun, Y. (2007). Efficient learning of sparse representations with an energy-based model, Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2006), MIT Press, 1137-1144.
- [6] Vincent, P., Larochelle, H., Bengio, Y., Manzagol, P. A. (2008). Extracting and composing robust features with denoising autoencoders, ICML '08 Proceedings of the 25th international conference on Machine learning, Helsinki, Finland, 1096-1103.
- [7] Rifai, S., Vincent, P., Muller, X., Glorot, X., Bengio, Y. (2011). Contractive auto-encoders: Explicit invariance during feature extraction, in Proceedings of the 28 th International Conference on Machine Learning, Bellevue, WA, USA, 833–840.
- [8] Masci, J., Meier, U., Cireşan, D., Schmidhuber, J. (2011). Stacked Convolutional Auto-Encoders for Hierarchical Feature Extraction, Artificial Neural Networks and Machine Learning – ICANN 2011, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin, Heidelberg, 6791, 52-59.
- [9] Hinton, G. E. , Osindero, S., Teh, Y. W. (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets, Neural Comput., 18(7), 1527–1554.
- [10] Salakhutdinov, R., Hinton, G. E. (2009). Deep Boltzmann machines, in Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS) 2009, Clearwater Beach, Florida, USA, 1, 3.
- [11] Younes, L. (1999). On the convergence of markovian stochastic algorithms with rapidly decreasing ergodicity rates, Stochastics: An Int. J. Probab. Stochastic Process, 65, 177–228.
- [12] Williams, R. J., Zipser, D. (1989). A learning algorithm for continually running fully recurrent neural networks, Neural Comput, 1(2), 270–280.
- [13] LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition, in Proceedings of the IEEE, 86(11), 2278-2324.
- [14] Hubel, D. H., Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex, J. Physiol, 160(1), 106–154.
- [15] Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. (2017). Imagenet classification with deep convolutional neural networks, Communications of the ACM, New York, NY, USA, 60(6), 84-90.
- [16] Szegedy, C. et al. (2015). Going deeper with convolutions, 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Boston, MA, 1-9.
- [17] <http://www.iro.umontreal.ca/~pift6266/H10/notes/mlintro.html>, (Erişim tarihi: 13.03.2019).
- [18] Hinton, G. E., Osindero, S., Teh Y., (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets, Neural Computation, 18, 1527-1554.
- [19] Bengio, Y., Lamblin, P., Popovici, D., Larochelle, H. (2007). Greedy layer-wise training of deep networks, in J. Platt et al. (Eds), Advances in Neural Information Processing Systems 19 (NIPS 2006), MIT Press, 153-160.
- [20] Hinton, G. E., Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks, Science, 313(5786), 504–507.
- [21] Salakhutdinov, R. R., Hinton, G. E. (2007). Learning a nonlinear embedding by preserving class neighbourhood structure, Journal of Machine Learning Research - Proceedings Track, 2, 412-419.
- [22] Le Roux, N., Bengio, Y. (2008). Representational power of restricted Boltzmann machines and deep belief networks, Neural Comput., 20(6), 1631-1649.
- [23] Sutskever, I., Hinton, G. E. (2008). Deep, narrow sigmoid belief networks are universal approximators, Neural Comput., 20(11), 2629-2636.
- [24] Ranzato, M., Huang, F.J., Boureau, Y., LeCun, Y. (2007). Unsupervised learning of invariant feature hierarchies with applications to object recognition, 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Minneapolis, MN, 1-8.
- [25] Suwajanakorn, S., Saito, S. M., Kemelmacher-Shlizerman, I. (2017). Synthesizing Obama: Learning Lip Sync from Audio, ACM Trans. Graph. journal, New York, USA, 36(4).
- [26] Dahl, R., Norouzi, M., Shlens, J. (2017). Pixel recursive super resolution, CoRR journal, abs/1702.00783.
- [27] Cao, Z., Simon, T., Wei, S. E., Sheikh, Y. (2016). Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields, CoRR,abs/1611.08050.
- [28] Karpathy, A., Li, F. F. (2014). Deep visual-semantic alignments for generating image descriptions”, CoRR, abs/1412.2306.
- [29] Ganin, Y., Ustinova, E., Ajakan, H., Germain, P., Larochelle, H., Laviolette, F., Marchand, M., Lempitsky, V. (2016). Domain-adversarial training of neural networks, Journal of Machine Learning Research, 59, 1-35.
- [30] <http://www.deepglint.com/skill?pageState=%27intelligentAlgorithm%27>, (Erişim tarihi: 19.03.2019)
- [31] Nguyen, A. M., Dosovitskiy, A., Yosinski, J., Brox, T., Clune, J. (2016). Synthesizing the preferred inputs for neurons in neural networks via deep generator networks”, CoRR, abs/1605.09304.
- [32] Radford, A., Metz, L., Chintala, S. (2015). Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks, CoRR, abs/1511.06434.
- [33] Reiman, D. M., Göhre, B. E. (2019). Deblending galaxy superpositions with branched generative adversarial networks”, 10.1093/mnras/stz575, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2(485), 2617-2627.

- [34] Wu, Y., Schuster, M., Chen, Z. et al. (2016). Google's neural machine translation system: bridging the gap between human and machine translation, CoRR, abs/1609.08144.
- [35] Kuang, Y. (2019). Deep neural network for deep sea plankton classification, Stanford University, http://cs231n.stanford.edu/reports/2015/pdfs/ymkuang_project.pdf.
- [36] Al-Barazanchi, H. A., Verma, A., Wang, S. (2019). Plankton image classification using convolutional neural networks, Department of Computer Science, California State University, Fullerton, CA, USA, <https://pdfs.semanticscholar.org/ed26/f44893b2e53147ca86b4e7bfaa1eeeb9832f.pdf>.
- [37] Yan, J., Li, X., Cui, Z. (2017). A more efficient ESA architecture for plankton classification, From book Computer Vision: Second CCF Chinese Conference, CCCV 2017, Tianjin, China, Proceedings, Part III, 198-208.
- [38] Classifying plankton with deep neural networks. (2015). <http://benanne.github.io/2015/03/17/plankton.html>.
- [39] Isola, P., Zhu, J. Y., Zhou, T., Efros, A.A. (2016). Image-to-image translation with conditional adversarial networks, CoRR, abs/1611.07004.
- [40] <http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/projects.html>. (Erişim tarihi: 23.03.2019).
- [41] Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Graves, A., Antonoglou, I., Wierstra, D., Riedmiller, M. A. (2013). Playing atari with deep reinforcement learning, CoRR, abs/1312.5602.
- [42] Huval, B., Wang, T., Tandon, S., Kiske, J., Song, W., Pazhayampallil, J., Andriluka, M., Rajpurkar, P., Migimatsu, T., Cheng-Yue, R., Mujica, F. A., Coates, A., Ng, A. Y. (2015). An empirical evaluation of deep learning on highway driving, CoRR, abs/1504.01716.
- [43] Levine, S., Pastor, P., Krizhevsky, A., Ibarz, J., Quillen, D. (2018). Learning hand-eye coordination for robotic grasping with deep learning and large-scale data collection, The International Journal of Robotics Research, 37(4–5), 421–436.
- [44] Yu, J., Weng, K., Liang, G. et al. (2013). A vision-based robotic grasping system using deep learning for 3D object recognition and pose estimation, Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2013 IEEE International Conference on; Shenzhen, 1175-1180.
- [45] Zhou, Y., Ebrahimi, S., Arik, S.Ö., Yu, H., Liu, H., Diamos, G. (2018). Resource-efficient neural architect, CoRR, abs/1806.07912, 1806-07912.
- [46] Li, X., Xiong, H., Wang, H., Rao, Y., Liu, L., Huan, J. (2019). Delta: deep learning transfer using feature map with attention for convolutional networks, CoRR, abs/1901.09229.
- [47] Gebru, T., Krause, J., Wang, Y., Chen, D., Deng, J., Aiden, E.L., Fei-Fei, L. (2017). Using deep learning and Google Street View to estimate the demographic makeup of neighborhoods across the United States, Proceedings of the National Academy of Sciences Dec 2017, 114 (50), 13108-13113.
- [48] Fakoor, R., Ladhak, F., Nazi, A., Huber, M. (2013). Using deep learning to enhance cancer diagnosis and classification, The 30th International Conference on Machine Learning (ICML 2013), WHEALTH workshop, 1–7.
- [49] Ibrahim, R., Yousri, N. A., Ismail, M. A., El-Makky, N. M. (2014). Multi-level gene/mirna feature selection using deep belief nets and active learning, 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Chicago, IL, 3957-3960.
- [50] Khademi, M., Nedialkov, N. S. (2015). Probabilistic graphical models and deep belief networks for prognosis of breast cancer, 2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), Miami, FL, 727-732.
- [51] Quang, D., Chen, Y., Xie, X. (2014). Dann: a deep learning approach for annotating the pathogenicity of genetic variants, Bioinformatics, 31, 761–763.
- [52] Ramsundar, B., Kearnes, S., Riley, P., Webster, D., Konerding, D., Pande, V. (2015). Massively multitask networks for drug discovery, arXiv:1502.02072.
- [53] Zhang, S. et al. (2016). A deep learning framework for modeling structural features of rna-binding protein targets, Nucleic Acids Res, 44(4), e32.
- [54] Tian, K., Shao, M., Wang, Y., Zhou, S., Guan, J. (2016). Boosting compound-protein interaction prediction by deep learning, Methods, 110, 64-72.
- [55] Angermueller, A., Lee, H., Reik, W., Stegle, O. (2017). Accurate prediction of single-cell dna methylation states using deep learning, Genome Biology, 18(1), 67.
- [56] Shan, J., Li, L. (2016). A deep learning method for microaneurysm detection in fundus images, 2016 IEEE First International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE), Washington, DC, 357-358.
- [57] Mansoor A. et al. (2016). Deep learning guided partitioned shape model for anterior visual pathway segmentation, IEEE Trans. Med. Imag, 35(8): 1856–1865.
- [58] Nie, D., Zhang, H., Adeli, E., Liu, L., Shen, D. (2016). 3d deep learning for multi-modal imaging-guided survival time prediction of brain tumor patients, in Proc. MICCAI, 2016, Lecture Notes in Computer Science, 9901, 212–220.
- [59] Kleesiek, J. et al. (2016). Deep mri brain extraction: a 3d convolutional neural network for skull stripping, NeuroImage, 129, 460–469.
- [60] Jiang, B., Wang, X., Luo, J., Zhang, X., Xiong, Y., Pang, H. (2015). Convolutional neural networks in automatic recognition of trans-differentiated neural progenitor cells under bright-field microscopy, 2015 Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC), Qinhuangdao, 122-126.
- [61] Havaei, M., Guizard, N., Larochelle, H., Jodoin, P. (2016). Deep learning trends for focal brain pathology segmentation in mri, Machine Learning for Health Informatics, Springer, 25-148.
- [62] Suk, H. I. et al. (2014). Hierarchical feature representation and multimodal fusion with deep learning for ad/mci diagnosis, NeuroImage, 101, 569–582.
- [63] Kuang, D., He, L. (2014). Classification on adhd with deep learning”, 2014 International Conference on Cloud Computing and Big Data, Wuhan, 27–32.

- [64] Li, F., Tran, L., Thung, K.H., Ji, S., Shen, D., Li, J. (2015). A robust deep model for improved classification of ad/mci patients”, *IEEE J. Biomed. Health Inform.* 9(5), 1610–1616.
- [65] Fritscher, K., Raudaschl, P., Zaffino, P., Spadea, M. F., Sharp, G. C., Schubert, R. (2016). Deep neural networks for fast segmentation of 3d medical images, *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2016*. MICCAI 2016, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cam, 9901, 158-165.
- [66] Zhen, X., Wang, Z., Islam, A., Bhaduri, M., Chan, I., Li, S. (2016). Multi-scale deep networks and regression forests for direct bi-ventricular belief estimation, *Med. Image Anal.*, 30, 120–129.
- [67] Brosch, T., Tam, R. (2013). Manifold learning of brain mris by deep learning, *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2013*. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin, Heidelberg, 8150, 633-640.
- [68] Xu, T., Zhang, H., Huang, X., Zhang, S., Metaxas, D. N. (2016). Multimodal deep learning for cervical dysplasia diagnosis, *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2016*, Springer, 115–123.
- [69] Avendi, M., Kheradvar, A., Jafarkhani, H. (2016). A combined deep-learning and deformable-model approach to fully automatic segmentation of the left ventricle in cardiac mri, *Med. Image Anal.*, 30, 108–119.
- [70] Yu, J., Chen, J., Xiang, Z. Q., Zou, Y. (2015). A hybrid convolutional neural networks with extreme learning machine for WCE image classification, *2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Zhuhai, 1822-1827.
- [71] Roth, H. R. et al. (2015). Anatomy-specific classification of medical images using deep convolutional nets, *2015 IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, New York, NY, 101-104.
- [72] Grinsven, M. J. V., Ginneken, B. V., Hoyng, C. B., Theelen, T., S'anchez, C. I. (2016). Fast convolutional neural network training using selective data sampling: Application to hemorrhage detection in color fundus images, *IEEE Trans. Med. Imag.*, 35(5), 1273–1284.
- [73] Anthimopoulos, M., Christodoulidis, S., Ebner, L., Christe, A., Mougiakakou, S. (2016). Lung pattern classification for interstitial lung diseases using a deep convolutional neural network, *IEEE Trans. Med. Imag.*, 35(5), 1207–1216.
- [74] Cao, Y. et al. (2016). Improving tuberculosis diagnostics using deep learning and mobile health technologies among resource-poor and marginalized communities, *2016 IEEE First International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*, Washington, DC, 274-281.
- [75] Chen, H. et al. (2015). Standard plane localization in fetal ultrasound via domain transferred deep neural networks, *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, 19(5), 1627–1636.
- [76] Shin, H. C. et al. (2016). Deep convolutional neural networks for computer aided detection: ESA architectures, dataset characteristics and transfer learning, *IEEE Trans. Med. Imag.*, 35(5), 1285–1298.
- [77] Tajbakhsh, N. et al. (2016). Convolutional neural networks for medical image analysis: full training or fine tuning?, *IEEE Trans. Med. Imag.*, 35(5): 1299–1312.
- [78] Yan, Z. et al. (2016). Multi-instance deep learning: Discover discriminative local anatomies for bodypart recognition, *IEEE Trans. Med. Imag.*, 35(5), 1332–1343.
- [79] Greenspan, H., Ginneken, B. V., Summers, R. M. (2016). Guest editorial deep learning in medical imaging: overview and future promise of an exciting new technique”, *IEEE Trans. Med. Imag.*, 35(5), 1153–1159.
- [80] Cheng, J. Z. et al (2016). Computer-aided diagnosis with deep learning architecture: applications to breast lesions in us images and pulmonary nodules in ct scans”, *Sci. Rep.*, 6, 24454.
- [81] Kondo, T., Ueno, J., Takao, S. (2014). Medical image recognition of abdominal multi-organs by hybrid multi-layered gmdh-type neural network using principal component-regression analysis, *2014 Second International Symposium on Computing and Networking*, Shizuoka, 157-163.
- [82] Kondo, T., Junji, U., Takao, S. (2014). Hybrid feedback gmdh-type neural network using principal component-regression analysis and its application to medical image recognition of heart regions, *2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)*, Kitakyushu, 1203-1208.
- [83] Kondo, T., Takao, S., Ueno, J. (2015). The 3-dimensional medical image recognition of right and left kidneys by deep gmdh-type neural network, *2015 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS)*, Okinawa, 313-320.
- [84] Kondo, T., Ueno, J., Takao, S. (2016). Medical image diagnosis of lung cancer by deep feedback gmdh-type neural network, *Robot. Netw. Artif. Life*, 2(4), 252–257.
- [85] Rose, D. C., Arel, I., Karnowski, T.P., Paquit, V. C. (2010). Applying deep-layered clustering to mammography image analytics, *2010 Biomedical Sciences and Engineering Conference*, Oak Ridge, TN, 1-4.
- [86] Zhou, Y., Wei, Y. (2016). Learning hierarchical spectral-spatial features for hyperspectral image classification, *IEEE Trans. Cybern.*, 46(7), 1667–1678.
- [87] Lerouge, J., Herault, R., Chatelain, C., Jardin, F., Modzelewski, R. (2015). Ioda: an input/output deep architecture for image labeling, *Pattern Recognit.*, 48(9), 2847–2858.
- [88] Wang, J., MacKenzie, J. D., Ramachandran, R., Chen, D. Z. (2016). A deep learning approach for semantic segmentation in histology tissue images, *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2016*, Springer, 176–184.
- [89] Che, Z., Purushotham, S., Khemani, R., Liu, Y. (2015). Distilling knowledge from deep networks with applications to healthcare domain, *NIPS Workshop on Machine Learning for Healthcare (NIPS-MLHC)*, 1-13.
- [90] Miotto, R., Li, L., Kidd, B. A., Dudley, J. T. (2016). Deep patient: an unsupervised representation to predict the future of patients from the electronic health records, *Sci. Rep.*, 6, 1–10.
- [91] Nie, L., Wang, M., Zhang, L., Yan, S., Zhang, B., Chua, T. S. (2015). Disease inference from health-related questions via sparse deep learning, *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, 27(8), 2107–2119.

- [92] Mehrabi, S. et al. (2015). Temporal pattern and association discovery of diagnosis codes using deep learning, 2015 International Conference on Healthcare Informatics, Dallas, TX, 408-416.
- [93] Shin, H., Lu, L., Kim, L., Seff, A., Yao, J., Summers, R. M. (2016). Interleaved text/image deep mining on a large-scale radiology database for automated image interpretation, JMLR 2016, 17(107), 1-31.
- [94] Lipton, Z. C., Kale, D. C., Elkan, C., Wetzell, R. C. (2016). Learning to diagnose with lstm recurrent neural networks, 4th International Conference on Learning Representations, ICLR 2016, San Juan, Puerto Rico, May 2-4.
- [95] Liang, Z., Zhang, G., Huang, J. X., Hu, Q. V. (2014). Deep learning for healthcare decision making with EMRs, 2014 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), Belfast, 556-559.
- [96] Putin, E. et al. (2016). Deep biomarkers of human aging: application of deep neural networks to biomarker development, Aging, 8, 1021-33.
- [97] Futoma, J., Morris, J., Lucas, J. (2015). A comparison of models for predicting early hospital readmissions, Journal of Biomedical Informatics, 56, 229-238.
- [98] Zhao, A., Qi, L., Li, J., Dong, J., Yu, H. (2018). A hybrid spatio-temporal model for detection and severity rating of parkinson's disease from gait data, Neurocomputing, 315, 1-8.
- [99] Purushotham, S., Meng, C., Che, Z., Liu, Y. (2018). Benchmarking deep learning models on large healthcare datasets, Journal of Biomedical Informatics, 83: 112-134.
- [100] Davoodi, R., Moradi, M. H. (2018). Mortality prediction in intensive care units (icus) using a deep rule-based fuzzy classifier, Journal of Biomedical Informatics, 79, 48-59.
- [101] Supratak A. et al. (2016). Survey on feature extraction and applications of biosignals, Editor: Holzinger A., "Machine learning for health informatics", 161-182, Springer International Publishing AG.
- [102] Pereira, C. R., Pereira, D. R., Rosa, G. H., Albuquerque, V H. C., Weber, S. A. T., Hook, C., Papa, J. P. (2018). Handwritten assessment through convolutional neural networks: an application to parkinson's disease identification, Artificial Intelligence in Medicine, 87, 67-77.
- [103] Wulsin, D. F., Gupta, J. R., Mani, R., Blanco, J. A., Litt, B. (2011). Modeling electroencephalography waveforms with semi-supervised deep belief nets: fast classification and anomaly measurement, Journal of Neural Engineering, 8, 3, 036015.
- [104] Hu, C., Ju, R., Shen, Y., Zhou, P., Li, Q. (2016). Clinical decision support for alzheimer's disease based on deep learning and brain network, 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kuala Lumpur, 1-6.
- [105] Pang, S., Yu, Z., Orgun, M.A. (2017). A novel end-to-end classifier using domain transferred deep convolutional neural networks for biomedical images, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 140, 283-293.



Effect of Cement Amount on CBR Values of Different Soil

Ayşe Pekrioğlu Balkıs¹, Sawash Macid²

¹ Cyprus International University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Nicosia, North Cyprus (ORCID: 0000-0001-7400-7211)

² Cyprus International University, Civil Engineering Department (MSc), Nicosia, North Cyprus

(First received 8 July 2019 and in final form 30 July 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.588990)

ATIF/REFERENCE: Balkıs, A. P. & Macid, S. (2019). Effect of Cement Amount on CBR Values of Different Soil. *European Journal of Science and Technology*, (16), 809-815.

Abstract

Due to continued growth and rapid development of road construction, identification and recognition of type of soil and soil behaviour in different condition help us to select soil according to specification and engineering characteristic, also if necessary sometimes stabilize the soil and treat undesirable properties of soils by adding materials such as bitumen, lime, cement and etc. If the soil under pavement is not done according to the standards, construction will need more cost and construction time. In this case, a large part of soil should be removed, transported and sometimes deposited. Then purchased sand and gravel is transported to the site and full depth filled and compacted. Stabilization by cement or other treats gives an opportunity to use the existing soil as a base material instead of removing it and purchasing and transporting stabilized materials. In this study soil classification and the relation between soil classification and stabilization method is discussed, cement stabilization with different percentages have been selected for soil treatment based on National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). In this study California Bearing Ratio (CBR) will be used to define the subgrade strength. Because for flexible pavements, the subgrade is considered an ideal layer to withstand wheel load, and the CBR value is considered a force measuring parameter. 0%, 3%, 7% and 10% cement were added to different soil types to evaluate its effect on CBR values and plasticity properties of treated soil. Results showed that cement addition increased CBR values of different soil types by the rate of 22-69%.

Keywords: Cement stabilization, California Bearing Ratio, Clayey soil, Silty soil

Çimento Miktarının Farklı Toprakların CBR Değerlerine Etkisi

Öz

Yol yapımının sürekli ve hızlı gelişmesi nedeniyle, farklı koşullarda toprak tipinin ve toprak davranışının tanımlanması ve tanınması, şartnamelere ve mühendislik özelliklerine göre toprağı seçmemize, gerektiğinde toprağı iyileştirmeye ve toprakların istenmeyen özelliklerini işlemesine yardımcı olur. Yol kaplaması altındaki toprak standartlara göre yapılmazsa, yapılaşma daha fazla maliyet ve inşaat süresine ihtiyaç duyacaktır. Sağlam toprağın eksikliği bölgedeki toprağın kaldırılmasını taşınmasını ve bazen de depolanmasını gerektirmektedir. Daha sağlam dolgu malzemesinin sahaya taşınması ve arazide sıkıştırılması ek maliyet gerektirmektedir. Çimento veya diğer mineral katkılarla zeminin iyileştirilmesi, mevcut malzemenin yerinde kullanımı açısından destek sağlamaktadır. Bu çalışmada, farklı toprak sınıflandırmasına göre Ulusal Kooperatif Karayolu Araştırma Programına (NCHRP) dayanarak toprak işlemesi için farklı oranlarda çimento stabilizasyonu seçilmiştir. Bu çalışmada, alt temel dayanımını tanımlamak için Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) kullanılacaktır. Çünkü esnek yol yabakası için gerekli olan alt katman, tekerlek yüküne dayanacak ideal bir katman ve CBR değeri, bir kuvvet ölçüm parametresi olarak kabul edilir. Çimentonun toprağın CBR değerleri ve plastisite özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için farklı toprak türlerine % 0, % 3, % 7 ve % 10 çimento eklenmiştir. Sonuçlar çimento ilavesinin farklı toprak tiplerinde CBR değerlerini % 22-69 oranında arttırdığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento stabilizasyonu, California taşıma oranı, Killi toprak, Siltli toprak

¹ Corresponding Author: Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa, KKTC, ORCID: 0000-0001-7400-7211, apekrioglu@ciu.edu.tr

1. Introduction

Soil stabilization a general term for any physical, chemical, mechanical, biological or combined method of changing a natural soil to meet an engineering purpose. Improvements include increasing the weight bearing capabilities, tensile strength, and overall performance of in-situ subsoils, sands, and waste materials in order to strengthen road pavements. Stabilization can be divided into two groups, mechanical stabilization and admixture stabilization. Mechanical stabilization performed by mixing gradation portion into soil on-site or quarry plant to changing gradation and sieve analysis of soil to reach required specifications. Spreading, mixing and compaction is done to achieve required density. The most important objectives of soil stabilization are providing one or more of the following:

- Modify the soft soils and low resistivity
- Increases soil stability
- Increased soil bearing resistance
- Lower permeability
- Reduce the swelling and contraction of the soil
- Reduce soil moisture
- Reduction of soil plasticity range
- Prevent soil erosion
- Reduce the thickness of pavement layers
- Create the basis capable of bearing base layers and more
- Reconstruction of old pavements using materials available
- Preparation area for easier implementation of construction operations
- Dust Reduction
- Saving energy
- Accelerate the operation
- Enhance quality and reduce layer thickness [1,2]

The most important reason for soil stabilization in road construction can be regarded as follows:

- Moisture Control
- Dust control
- Modify of poor soil
- Construction the appropriate sub-grade with excellent quality
- Reconstruction of roads
- Reduce the cost and implementation time
- Modify inappropriate properties of soil under the base and sub-base

This study discusses how much effective cement will be to improve soil properties (CBR) when used as additive.

2. Cement Stabilization

Strength gain in soils using cement stabilization occurs through the same type of using lime stabilization. Cement contain the calcium required for the pozzolanic reactions to occur; however, the origin of the silica required for the pozzolanic reactions to occur differs. With cement stabilization, the cement already contains the silica without needing to break down the clay mineral. Thus, cement stabilization is fairly independent of the soil properties; the only requirement is that the soil contains some water for the hydration process to begin. [3]

Soil material that has been treated with a proportion of Portland cement (5 to 14%) to modify undesirable properties of soils or sub standard materials so that suitable soil may be used as road sub-layers' construction.

Cement percentage that will be used to stabilize in-situ soils depends on the level of modification required, plastic behavior of soil or other criteria. Cement stabilization is used to improve the engineering properties and construction characteristics of silt and clay soils by reducing its plasticity and increase the compaction and strength of the treated soil. Silt and clay soils, especially when are wet, can create compaction and construction problems. These soils can be soft, plastic, and difficult to compact. Good compaction and cement stabilization of soil help to strength and durability of pavement. Cement stabilization may not be suitable for all types of soil such as organic soil, acid soil, sulfate soil and uniform sand.

Singh et al. mentioned in their study that the CBR value of gravel soil stabilized with cement increased significantly with increase in cement content. 6 % cement content increased CBR value from 30 to 90 % for 96 hours soaking [3].

Okunkwo et al. stated in their experimental research that for soil type A-2-6 subgroup of A-2 group (generally consisting of silty or clayey sand), the addition of 5.36% and 6.48% of cement help the soil meet the CBR requirement for sub-base and base course respectively [4].

Mousavi et al. emphasized on that as for the CBR value, it was found that the CBR value of stabilized clay increased drastically in comparison with the CBR of untreated soil specimen [5].

In Udo's study, for river sand, increase in cement content from 2-10 % caused increase in CBR from 26% to 127% [6].

Literature review shows there are difference between the results which is due to the nature of the soils with different properties.

3. Soil Tests

To classify soil, two system have been used (USCS-Unified Soil Classification System and AASHTO-American Association of State Highway and Transportation Officials). To determine particle size distribution, sieve analysis and hydrometer tests have been performed. Also for consistency property, Atterberg limits (plastic limit and liquid limit) tests have been performed. Figure 1 and Table 1 shows flowchart for fine soil classification according to USCS and AASHTO, respectively.

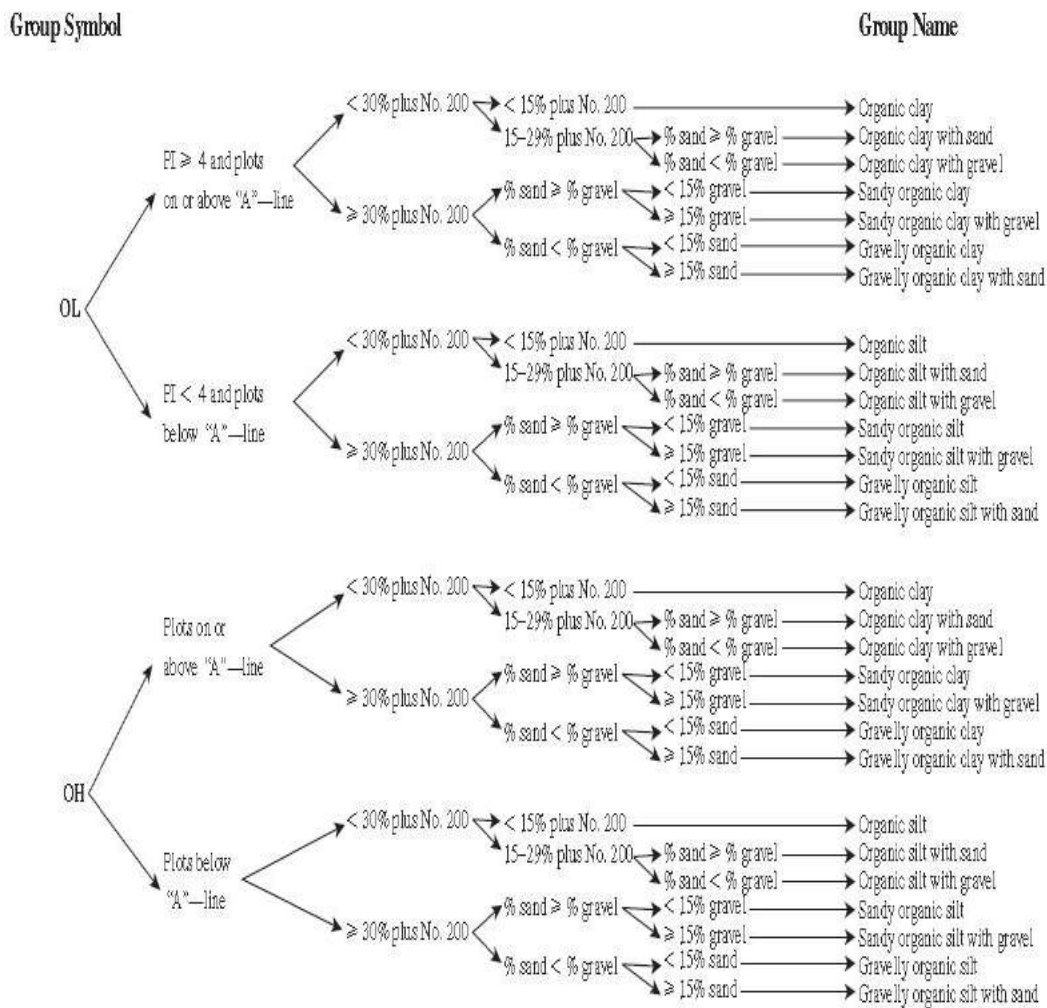


Figure 1. Fine Soil Classification according to USCS [7]

Table 1. Classification of Silty-Clay with respect to AASHTO [8]

General Classification	Silt-Clay Materials (>35% passing the 0.075 mm sieve)			
Group Classification	A-4	A-5	A-6	A-7
				A-7-5 A-7-6
Sieve Analysis, % passing				
2.00 mm (No. 10)
0.425 (No. 40)
0.075 (No. 200)	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40)				
Liquid Limit	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity Index	10 max	10 max	11 min	11 min
Usual types of significant constituent materials	silty soils		clayey soils	
General rating as a subgrade	fair to poor			

After soil classification, laboratory compaction tests have been performed on soil samples to obtain moisture-density relationship according to ASTM-D1557, 2007 [9]. Then according to specifications, amount of cement content as additive has been determined and CBR testing done on un-stabilized and stabilized soil samples.

3.1. Soil Types

Table 2 gives four different soil type with their MDD (maximum dry density), OMC (optimum moisture content) and Atterberg limits (LL-Liquid Limit, PL-Plastic Limit and PI-Plasticity index) that have been classified according to USCS and AASHTO.

Table 2. Test results for all samples

Soil Classification systems		MDD	OMC	LL	PL	PI
USCS	AASHTO	(g/cm ³)	%	%	%	%
GC-GM(Silty-clay gravel with sand)	A-2-4,(0)	1.955	9.7	27	22	5
CL-(Sandy Lean Clay)	A-4,(0)	1.852	12.3	30	20	10
ML-(Sandy Silt)	A-4,(0)	1.841	13.3	34	24	10
CL-ML-(Sandy Silty Clay)	A-4,(0)	2.034	10.3	25	18	7

3.2. California Bearing Ratio Tests and Results

CBR or strength is one indication for of the degree of reaction in the (soil, cement, and water). California Bearing Ratio is directly related to density, it is affected by the degree of compaction and water content in cement stabilized soil. Compressive strength tests were performed 4-hour after sample preparation according to (ASTM-D1633, 2000). CBR test have been performed according to (ASTM-D1883, 2007). Table 3 gives CBR values of four different soil types with addition of 0, 3, 7 and 10% cement additions. Figure 2. shows the effect of cement addition on different soil types.

Table 3. CBR values for all samples

Soil Class		Added Cement%	CBR%
USCS	AASHTO System		
GC-GM(Silty-clay gravel with sand)	A-2-4,(0)	0	30.4
		3	63.1
		7	155.8
		10	211.9
CL-(Sandy Lean Clay)	A-4,(0)	0	4.2
		3	47.6
		7	70.4
		10	116.1
ML-(Sandy Silt)	A-4,(0)	0	2.1
		3	47.6
		7	78.6
		10	141
CL-ML-(Sandy Silty Clay)	A-4,(0)	0	5.6
		3	64.2
		7	120.5
		10	136.3

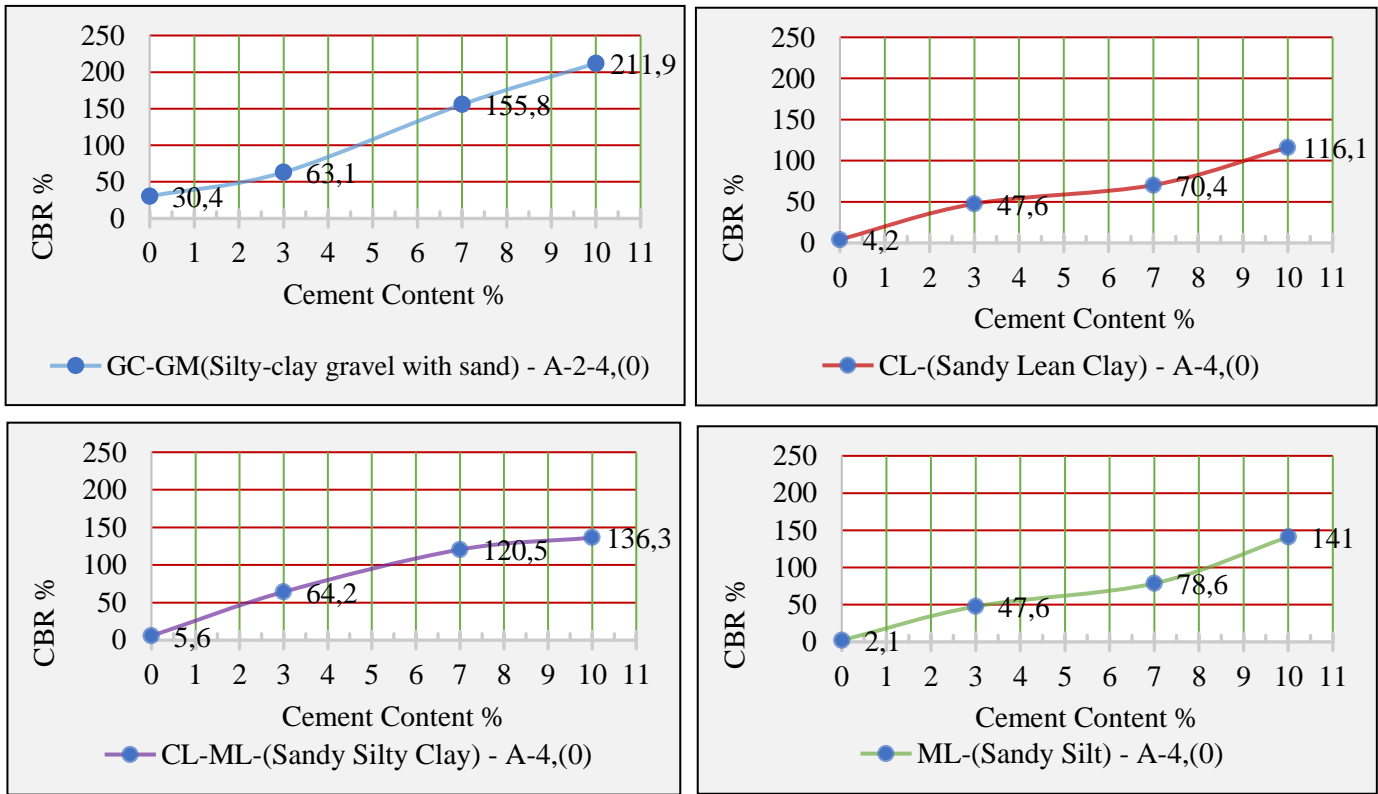


Figure 2. Effect of cement addition on CBR values of treated soils

As it can be seen from Figure 2, as the amount of cement increased, CBR values of all soil types increased. Maximum increase in CBR is obtained for ML soil. Adding cement to the soil reduces plastic properties of soil and improves the bond between soil particles. This property increases the load resistance of cement-stabilized soils. Fine-grained soils and clayey soils that have plastic properties in moist condition can more successfully stabilized with cement. Clayey soil when wet are soft and their strength decreases extremely. Soil stabilization with cement increase CBR especially in clayey soils in saturated or wet conditions because cement creates strong bonding between soil particles and improves plasticity behavior. Usually immediately after adding cement to the soil, there is an increase in the soil strength. The immediate increased resistance facilitates construction machinery on soil layer and the pavement ready for implementation. The results of the tests and perceives studies shown cement has high impact in clayey soil strength. Implementation of stabilization process by different cement content help to engineers to select an economic cement amount for the stabilization process according to project specification and characteristics.

4. Conclusions and Recommendations

Cement stabilization improves strength and plasticity of soil. Cement stabilization is useful especially for fine-grained soils. By adding 3,7 and 10 % cement content in samples, CBR increase for, No. 1: 32.7, 125.4 and 181.5, No. 2: 43.4, 66.2, 11.9, No. 3: 45.5, 7.5, 138.9 and No. 4: 58.6, 114.6 and 130.7 respectively. Cement addition increases CBR values of different soil types by the range of 22-69%. The use of stabilizing agent which is cement in this study, for sub-grade with weak soil, improves strength parameter, such as cohesion and improvement in cohesion leads to strengthening of subgrades. This will ultimately lower down the road construction cost. Imporevment in CBR is directly related to the improvement in compressive strength. Cementation decreases the plastic behaviour of soil.

References

- [1] A Kavosi, "Evaluation of soil stabilization using lime in Pars airport". Tehran-Iran: Amir Kabir Un., 2001
- [2] N. J. Garber and L. A. Hoel, "Traffic and Highway Engineering", SI Edition. Cengage Learning, 2014.
- [3] M. Patel and and H.S. Patel, "A Review on Effects of Stabilizing Agents for Stabilization of Weak Soil", Civil and Environmental Research, Vol. 12, No 6, 2012
- [4] U. Singh and R.K. Yadav, "Study of Geotechnical Properties of Cement Stabilized Gravelly Soil", International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), Vol.5, Issue I, 2017
- [5] V.O. Okonkwo and N.W., Nwokike, "Soil-Cement Stabilization For Road Pavement Using Soils Obtained From Agu-Awka In Anambra State", Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, Vol.2, Issue 10, 2015
- [6] S. Mousavi and L.S. Wong, "Performance of Compacted and Stabilized Clay with Cement, Peat Ash and Silica Sand", Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 9, No. 1, 2015

- [7] E. Udo, C. Kennedy and Assam S., “Comparative Stabilization and Model Prediction of CBR Values of Orukim Residual Soils”, Akwalbom State, Nigeria, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, Volume 12, Issue 4 Ver. II, 2015, pp. 53-61
- [8] ASTM-D2487. Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). Retrieved from <http://www.svcp-sa.com/images/STANDARDS%20AND%20QUALITY/STANDARDS%20AND%20QUALITY%201/D%202487%20-%2006%20Soil%20Clasification.pdf>, 2006
- [9] ASTM-D3282. Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. Retrieved from http://scetcivil.weebly.com/uploads/5/3/9/5/5395830/d_3282_-_93_r04_rdmmyodi_.pdf, 2004
- [10] ASTM-D1557. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort. ASTM, 100 Barr Harbor Drive,. Retrieved from <http://www.ce.sc.edu/deptinfo/members/faculty/ray/web1/Ugrad/ECIV%20330/ASTM/D1557SoilMoistureDensityModified.PDF>, 2007



Properties of Novel Tricopter And Comparison of Other Unmanned Aerial Vehicles

Hüseyin Şahin^{1*}, Tuğrul Oktay²

¹ Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Uçak Teknolojisi Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0464-2644)

² Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4860-2230)

(İlk Geliş Tarihi 4 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 30 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.586900)

ATIF/REFERENCE: Şahin, H., & Oktay, T. (2019). Properties Of Novel Tricopter And Comprasion Of Other Unmanned Aerial Vehicles. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 816-825.

Abstract

With the development of technology, the usage rates of unmanned aerial vehicles have increased. Although unmanned aerial vehicles were first used as counter-attack in army, they were also used for surveillance, reconnaissance, mapping and defence. In addition to this, have begun to be used for various purposes such as taking images from the air in the film industry, carrying cargo, traffic control, natural disaster search and rescue, fire warning and extinguishing, illegal building control. While the advantages of fixed wing unmanned aerial vehicles are that they can move quickly, the disadvantages is that long runways for take-off and landing. Rotary wing unmanned aerial vehicles have the advantage that they do not need runways because they can take off and landing in the same place, but they are disadvantageous because of their low flight time. The general name of the rotating wing unmanned aerial vehicle is drone. 4 propelled quadcopter and other multi-propelled multicopters are inefficient in energy management, 2 propelled bicopters are less manoeuvrable, tricopter is more advantageous than others. The tricopters have better maneuverability than other rotary wing aircraft thanks to the servo mechanism used in the tail motor. Tricopter's fixed body (moment arm of the rotor) which are endurance, ease of control, ease of to-downstream keeps constant the air vibrations and like many features stable flight. By using innovative tricopter aerodynamic mechanism, the moment arm of the rotors is provided with variability and performance/stability parameters are planned to be stabilized and kept in the air for a long time.

Key words: Rotating Wing Unmanned Aerial Vehicle, Tricopter, Drone.

Özgün Trikopterin Özellikleri ve Diğer İnsansız Hava Araçları ile Karşılaştırılması

Öz

Teknolojinin gelişmesiyle insansız hava araçlarının kullanım oranları artmıştır. İnsansız hava araçları ilk önceleri orduda karşı saldırı olarak kullanılsa da, gelişmeler ile birlikte gözetleme, keşif, haritalama ve savunma gibi amaçlar için de kullanıldı. Buna ek olarak, sinema endüstrisinde havadan görüntü çekimi, kargo taşıma, trafik kontrolü, doğal afet arama ve kurtarma, yangın ihbar ve söndürme, kaçak yapı kontrolü gibi çeşitli amaçlar için de kullanılmaktadır. Sabit kanatlı insansız hava taşıtlarının avantajları hızlı hareket edebilmeleri olsa da, dezavantajları kalkış ve iniş için uzun pistlerin olmasıdır. Döner kanatlı insansız hava araçları, kalkış ve iniş için uzun pistlere ihtiyaç duymama avantajına sahiptir, küçük düz bir alandan kalkış yapabilecekleri gibi iniş de yapabilirler, fakat kısa uçuş süreleri nedeniyle dezavantajlıdır. Dönen kanatlı insansız hava aracının genel adı drondur. 4 pervaneli dron quadcopter ve diğer çok pervaneli multikopterler enerji yönetimi konusunda yetersizdir. 2 tahrikli bikopter stabilite ve manevra kabiliyeti dezavantajlıdır, tricopter ise döner kanatlı insansız hava araçlarına göre daha avantajlı. Kuyruk motorlarında kullanılan servo mekanizması sayesinde, Trikopterler diğer döner kanatlı hava araçlarına göre daha iyi manevra kabiliyetine sahip. Başkalaşabilen özgün trikopter aerodinamik yapısını kullanarak, rotorların tork kollarının hareket etmesi sağlanır ve performans/stabilite parametrelerinin optimize edilmesi ve uzun süre havada tutulması planlanır.

Keywords: Döner kanatlı insansız hava aracı, Trikopter, Drone.

*Corresponding Author: Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Uçak Teknolojisi, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0003-0464-2644), husahin@ybu.edu.tr

1. Introduction

Unmanned aerial vehicles, which have been used in defense systems for the past 60 years and then used for different tasks such as surveillance and defense in the civilian sector, have become a popular topic today. Along with the developing technology and the ease of accessing materials, different tasks have been gained with the introduction of civil use. The cheaper cost of production, operation and maintenance than aeroplane or helicopter may be at the head of reasons for the unmanned aerial vehicles becoming the focus of attention. Other advantages of UAV can be easily adapted to user requests and the operator who controls the UAV is not in the vehicle so pilot does not have a vital danger in difficult tasks. Various UAV designs have been made to improve performance with developing technology. UAVs that are less vulnerable to human life can be seen as the reason for its popularity. On the other hand, they are more suited to flexible designs according to the tasks assigned to them. They can be used comfortably for tasks that are dangerous for human life with the reason that they need less human resources. It is also being used as a hobby by the users because of the easy of use.

Unmanned aerial vehicles are divided into two for wing. First of these are the fixed-wing unmanned aerial vehicles and other is rotating wings unmanned aerial vehicles. Fixed-wing unmanned aerial vehicles formally like an airplanes and require long runways to take off.

Rotating wings unmanned aerial vehicles dont need long runways to take off and land in opposed of fixed wings unmanned aerial vehicles. Rotary wing unmanned aerial vehicles of different forms, obtained by changing the number of rotors of the multicopter, have all been named differently. The name of rotary-wing unmanned aerial vehicles which has six propeller is hexacopter, optocopter has eight propeller and tricopter has three propeller.

The most popular rotating wing unmanned aerial vehicles are quadcopter and helicopter. But tricopter has many advantage such as the longer battery life and longer maneuverability with the same battery than others. Rotary wing unmanned aerial vehicles generally consist of propeller, brushless motors, electronic speed control circuits, microcontroller, sensor unit and battery.

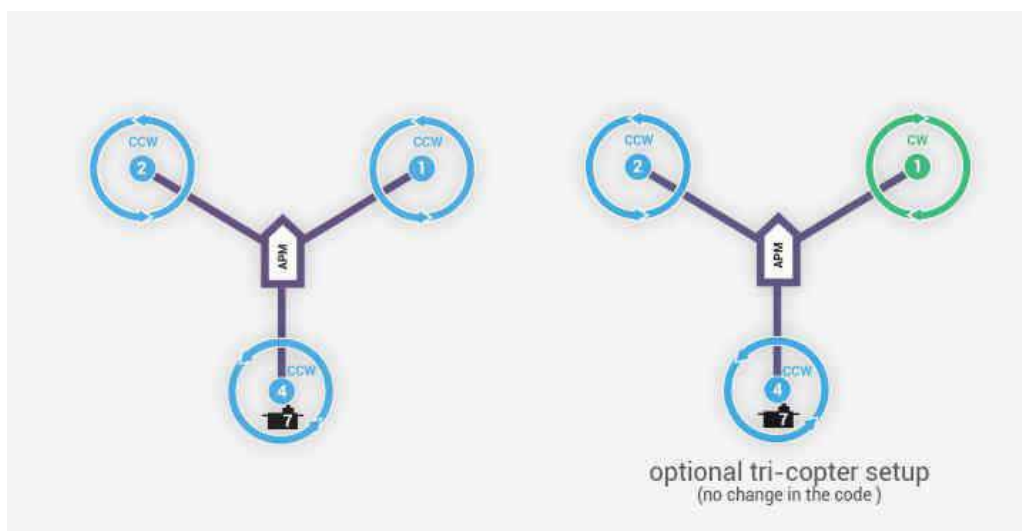
Unmanned aerial vehicles can be produced at low cost and started to be used in different areas. That's why it has a popular especially with surveillance and defense applications. This development can be explained by the autonomous use of unmanned aerial vehicles and their ease of use. UAVs are sensitivity with the GPS and other sensors. The most important role in the development of unmanned aerial vehicles is the development of engine and battery technology and the cheapening of materials.

The balance, which is a common problem of rotating-wing UAV, also applies to tricopters. Tricopter requires a variety of sensors and servo in order to remain stable and fly stable or easy maneuverability. The basic sensors used in tricopter are gyro and accelerometer. In addition, special sensors such as a magnetometer, a barometric pressure sensor or an ultrasonic distance sensor can be used in tricopter applications. These sensors can be used independently or with the help of a control card.

Compared to other unmanned aerial vehicles, the tricopter has a complicated structure and has several advantages, such as maneuverability and flight time.

As can be understood from the names of the tricopter is an unmanned aerial vehicle with 3 propellers. The tricopter, which have different designs, "Y" and "T" forms are highly preferred. It can be named in different names because it can be in different structures ("YCopter", "Tcopter"). Generally, they have 3 propellers, 3 brushless motors, 1 servo motor, 3 ESC (Motor Speed Control Card) and a control card. Servo motor is used in order to be able to easily maneuverable. Provides energy efficiency by using less energy than quadcopter using 1 motor.

Figure 1: Formal Structuring of Tricopter



Unmanned aerial vehicles need to be classified when considering performance characteristics. Some of these characteristics are weight, durability, flight time, maximum height, useful load carrying capacity, engine type and propulsion power.

Unmanned aerial vehicles can be operated with various energy sources such as gasoline, nitrous, fuel cell and electric battery. Less vibrations is desirable in aircraft because it is required for tasks such as camera shooting from the air, mapping, defense, and surveillance. Engines that use fuels such as gasoline or nitro are work more vibrant like they produce more power. Therefore, when unmanned aerial vehicles use sensitive equipment such as a camera, electricity is selected as an energy source.

The innovations of this study is morphing moment arm. Thanks to movable moment arm unmanned aerial vehicle is more stable and more economic. In bad weather, all aircraft cannot withstand wind force and cannot flight stable. Therefore autopilot systems have been developed and tried to flight wind resistant. This method is often useful for high-powered aircraft, but it is aerodynamically inadequate. The system made in this study allows the moment arm on which the motors are operated to extend and shorten.

Moment is directly proportional to the distance of the motors from the center. that is, the greater the distance of the applied position from the center, the greater the moment. The fact that the length of the moment arms increases the moment as well as the maneuver speed is disadvantageous in terms of features. Therefore, it is advantageous if the moment arms are short in smooth and windless weather, while the moment arms are long in case of flight in windy weather.

The morphism moment arm system is used in this study. It has active and passive morphing properties. When the autopilot senses windy air, it automatically activates the morphing system and extends the moment arms. Thus, the distance from the engines to the center increases and the flight becomes stable. In the case of passive morphing moment arm system, the user can optionally reduce flight vibration by extending the moment arms.

2. Material and Method

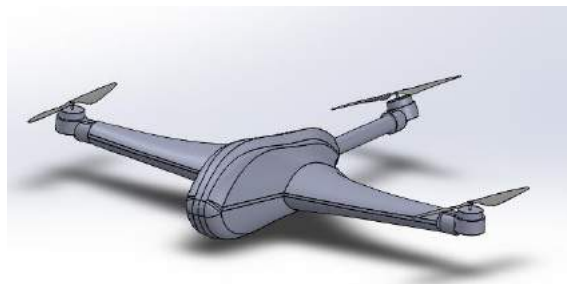
Our novel tricopter is aerodynamically efficient because it has moment arms and body in the form of a wing profile. In addition, it has the advantage of having the active and passive morphing mechanism and using energy efficiently. With the use of electricity sources not emitting greenhouse gases, produced less noise and pollution are reduced. Thanks to its transparent part in its body, it has a more esthetic appearance and it can carry camera is inside of the body. Thus it creates less drag resistance aerodynamically. With the autopilot system, it can reduces the risk of accidents.

Table 1: General characteristics of novel tricopter

Total weight	1.5 kg.
Useful load	0.5 kg.
Passive morphose	Used
Active morphose	Used
Range	10 km.
Flying time	30 min.
Max. Altitude	3000 m.
Transparent body	Used
Autonomus flying	Used
Airfoil	Used
Energy source	Electric battery

Novel tricopter is able to stay in the air for a longer time with less aerodynamic effect and less energy on cruise flights. Furthermore, the active and passive morphose mechanism provides a more stable flight by irregular weather conditions with the movement of the moment arms when the rolling control is not provided by the differential control of the main rotors.

Figure-2: Solid modeling of novel tricopter



2.1 Propulsion System of Novel Tricopter

Since the novel tricopter is planned to be used in scientific research, the power required by the tricopter engines should be at least multiple the total weight of the tricopter. The total weight of the novel tricopter is planned to be 1000gr. The tricopter needs to produce at least 3000 gr of thrust for the aircraft to be carry of 500 gr useful load. The 3,000gr thrust will share 3 engines on the tricopter. Therefore, each motor must be capable of producing at least 1000 gr drives. Based on these calculations, thrust system design is applied. Factors of affecting thrust system are propeller shape, engine speed, air density and speed of air in front of the propeller. When the air density is assumed to be 1,225 kg/m³ on a standard day at sea level, the thrust can be determined by the following formul;

$$F = 1.225 \frac{\pi(0.0254*d)^2}{4} * \left[\left(rpm * 0.0254 * pitch * \frac{1min}{60} \right) - \left(rpm * 0.0254 * pitch * \frac{1min}{60} \right) * v_0 \right] * \left(\frac{d}{3.29546 * pitch} \right)^{1.5} \quad (1)$$

Staples G. (2013)

Expressions in the form;

- F is the force given in "Newton".
- rpm is the speed of rotation of the motor and is accepted as "rpm".
- The pitch is displayed in the form of the pitch angle "inch".
- V₀ is the speed of air in front of the propeller and must be written in "m / s".

Simplified form of the formul;

$$F = 4.3924 * 10^{-8} * rpm * \frac{d^{3.5}}{\sqrt{pitch}} \left(4.2333 * 10^{-4} * rpm * pitch - V_0 \right)$$

(2)

Staples, G. (2013)

When the values are placed on the formula, the thrust is given by the "Newton" unit.

2.1.1 Selection of Propeller

One of the most important steps in designing the thrust system in the novel tricopter is propeller selection. The propellers move the air using the cyclic motion that take motors. The surface must be smooth so that the propeler can be efficient. The selection of propeller also affects the all thrust system. In selecting the propeller, the diameter and pitch of the propeller is important. The diameter of propeller should be shorter than the distance between the motors. The diameter of the propeller indicates the distance between the two ends of the propeller. The propeller is manufactured as inclined to move the air. The propeller pitch is the distance taken on a tour of the propeller rotation. The last value to be considered when selecting propeller is CW and CCW propeller. Some of propellers turns clockwise (CW) while the other propellers turn counter-clockwise (CCW) while the tricopter shows its formal configuration.

According to the information we have obtained as a result of the experiments, when the propeller diameter increases and the propeller pitch does not change, the static thrust increases and the maximum speed does not change. The propeller diameter and pitch must be large enough to generate more thrust. More thrust allows for more load carrying. On the other hand, if other parts of the thrust system are insufficient, the system can cause major damage. In order to system to generate sufficient power, other units such as engine, ESC, battery must be compatible.

Figure-3: Solid Model Drawing of the Propeller Used in Tricopter



2.1.2 Selection of Motor

The most important part of the thrust system is motor. In the production or maintenance of the tricopter, the motors and motor drivers must be the same. It's decided to use electricity as the power source of the tricopter, electric motors must be use. Electric motors are divided into brushed and brushless motors. Although the brushed motors are simple to use, their torque and RPM values are low. Therefore, brushed engines are suitable for use in small-size unmanned aerial vehicles.

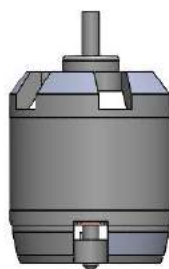


Figure-4: Solid Model of Brushless Motor Used in Tricopter

When choosing an motor, the motor KV value should be carefully selected. Motor KV value; is the unit of the cyclic speed when a 1V voltage is applied to the motor. When a 750 KV motor is supplied with 10 V, the motor will rotate at 7500 RPM. 7500 RPM is the data of the motor shaft rotates 7500 times in a minute. High current is used when the motor is at load or acceleration. The maximum current value is affects ESC selection at the same time. A thrust system designed without considering these values can cause overheating and fire.

2.1.3 Selection of ESC

After the engine selection, next step is choosing the ESC. One of the disadvantages of brushless DC motors is the need to have a controller for use. ESC is the part of the thrust system that controls the speed of the motor, that adjusts the voltage given to the motor. ESC is part of the thrust system that helps to control the speed of the motor. When ESC is selected, it is necessary to select 30% increase of the maximum current value of the motor or at least 10A more. For example, it is recommended to use an ESC of 40A in a motor where the maximum current value of the motor is 30A. The ESC can brake the motor.

Brushless ESC basically provides 3-phase AC power. There are 3 types of cables in ESCs used in brushless motors. The first of these is the battery power cable which consists of 2 cables. This cable is connected directly to the battery. The battery should also be compatible with the ESC. The latter is a control cable consisting of 3 thin cables. The control cable is connected to the control board and receives information about how fast the motor should turn. The last cable is connected to the motor. Motor connection is made from the 3 cable. If the direction of rotation of the motor is different from the designed direction, you should be replace any two of the motor connection cables.

Changing the propeller dimensions may cause the motor to overheat, or it may cause permanent damage if it exceeds the ESCnin values that give the motor power.

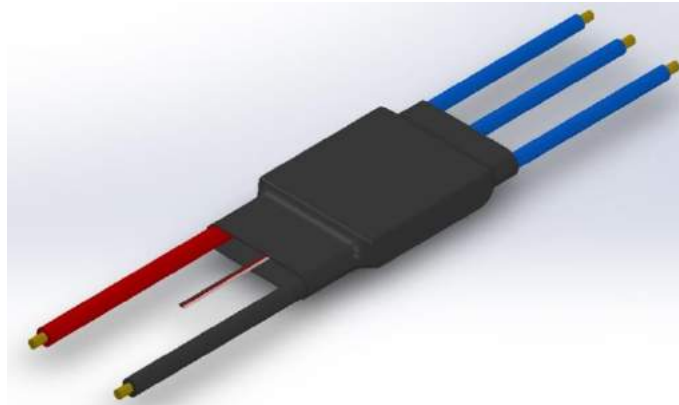


Figure-5: Solid Model Drawing of ESC Used in Tricopter

2.1.4 Selection of Battery

Lithium-polymer (Li-Po) batteries are chosen for unmanned aerial vehicles that use electricity as an energy source because they can deliver high current. Lipo batteries are the most popular source of energy in UAV due to their high power, light weight and long use. Lipo batteries have some disadvantages as they have advantages. The advantages and disadvantages of lipo batteries compare ni-mh and ni-cd batteries from rechargeable batteries are as follows;

Table 2: Advantages and disadvantages of using a Lipo battery

Advantage	Disadvantage
Lipo batteries are more light.	Lipo batteries have less life.
Lipo batteries have high capacities.	The sensitive chemical structures of lipo battarias are available to burn.
They may allow high discharge currents.	

There are 3 basic units to consider when choosing a Lipo battery. These units are number of cells, electric capacity and discharge current.

A cell in a Lipo battery usually has a 3.7V rating. We can find the voltage value of a battery that we know the cell number by multiplying by 3.7. The "S" on the battery reports the number of cells means cell. The "3S" battery can produce $3 \times 3.7 = 11.1V$. Some batteries have "S" and "P" values like "2S2P". This battery has 4 cells but 2 of them are connected in parallel and 2 of them are serial.

Figure-6: Lipo battery used in tricopter



Another important parameter of the Lipo battery is the capacity of the battery. The unit of capacitance is milliampere/hour (mAh). Although a high-capacity battery allows long flight, the battery should be well chosen as it will increase in weight. Assuming that the tricopter uses 9A on average, a 3000mAh battery can provide 20 minutes of flight.

Discharge rate is an important parameter especially in electric air vehicles. The unit of this parameter which is able to calculate the maximum current intensity that the battery can give is indicated by the unit "C". The current that the battery can safely deliver can be found by multiplying the ampere/hour (Ah) by the discharge rate (C). For example, if the discharge rate of 3000mAh or 3Ah battery is 50C, this battery can deliver a maximum of $50 \times 3 = 150A$.

2.2 Avionic System of Novel Tricopter

Avionics; all electronic system used for communication and control. The general purposes of avionic systems include tasks such as communication, control and navigation for the aircraft. Avionic system must be used for the novel tricopter to fly safely. If the tricopter is to be used in special tasks such as security or search and rescue, it must have lighting systems to be easily recognizable. These lighting systems can also be called avionic systems.

2.2.1 Control System

The esc and servo motors are controlled using the information received from the sensors so that the tricopter can fly with stable.

2.2.1.1 Remote Control System

The control systems consist of receiver and transmitter modules. The transmitter module of the control system is located in the ground station and the commands given by the pilot are transmitted to the UAV. The control system must have a receiver module operating at the same frequency as the transmitter module. The receiver modul converts the radio signals, given from transmitter control movements into electrical power. Bandwidth of channel that receiver and transmitter modules use to operate the same radio frequency is a factor affecting the performance of the tricopter. One of the important parameters of the control system is the control distance. Control range and range of aircraft; the communication receiver and transmitter modules without disconnect the work area. Control distance is influenced by the environment of the air vehicle.

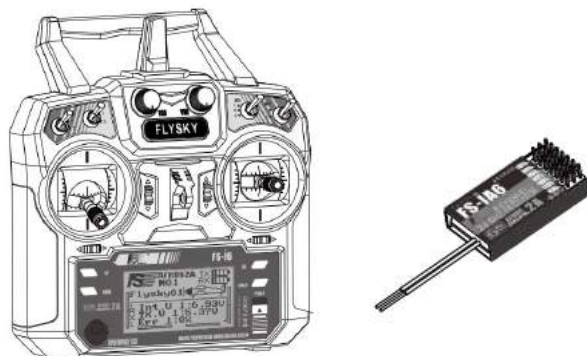


Figure-7: Transmitter and Receiver Used in Tricopter

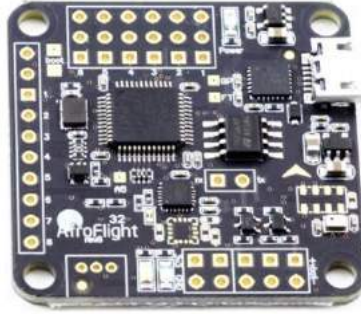
Referance: FS-i6 manual

2.2.1.2 Flight Control Card

Signals from the control system are processed on a flight control card. This flight control card allows autonomous flight thanks to a number of sensors and software in advance. The control card that works with the computer software specified by the flight control card manufacturer is set. The flight control card is connected to this program and settings can be made. The sensors that the flight control card has are:

- Accelerometer / gyroscope
- Magnetometer (magnetic compass)
- Barometric pressure sensor
- GPS connection

Figure-8: Flight Control Card used in Tricopter



2.2.1.2.1 Accelometer-Gyroscope

The use of a 3-axis gyro for inertial measurement can measure the novel tricopter speed. Allows the UAV's direction and position to be measured using gravitational force and processed at the flight control card. This sensor is also used in smartphones, tablets and wearable technology. It is easy to use with devices such as arduino with low energy usage. Sensor working with 3 accelerometers placed in 3 axes. In addition, the size of the sensor is small and the weight of the sensor is less influenced by the flight of the UAV.

2.2.1.2.2 Magnetometer

They are used to calculate the position of the UAV using the earth's magnetic field, which is used to calculate the magnetic field density. The magnetometer measures the magnetic forces of the medium in which the UAV is located. The measured value is processed on the flight control card to control of tricopter. It is used for navigating in tricopter. It is used in GPS systems, vehicle braking systems, mining and geological investigations, maritime and smart devices besides aviation.

2.2.1.2.3 Barometric Pressure

The barometric pressure sensor used to hold the altitude in the novel tricopter operates with high precision. The sensor, which calculates the static pressure of the medium by means of a tube, provides high precision and stability. Due to the UAV operating at low altitudes on high altitude flights, some sensors are difficult to operate. But the barometric pressure sensor is suitable for working between -40 and +85 degrees. It is also suitable for use in air vehicles with low energy consumption, small size and light weight.

2.2.1.2.4 GPS connection

Despite not having a GPS system in flight control card structure, the device which can be connected to the control card depending on demand, is widely used in military and civil systems with usage convenience everywhere in the world. The GPS system needs to connect with 4 or more GPS satellites to work smoothly. The novel tricopter equipped with a GPS system is used to determine the precise location on earth.

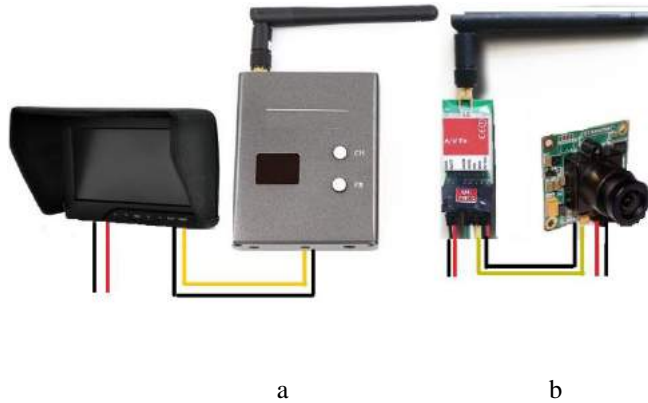


Figure-9: Gps

2.2.2 FPV system

The First Person View (FPV) system is widely used in unmanned aerial vehicles. It operates by transmitting the image taken from the camera located on the air vehicle to the ground station. The system consists of a camera, a battery, a monitor, a transceiver radio module and a recorder. In addition, the OSD device is used to provide information such as speed, position, battery status of the UAV along with camera information to the ground station. Some FPV systems are equipped with a gimbal system that works with a gyroscope to capture images smoothly.

Figure-10: FPV System Schematic a) ground station b) UAV configuration



2.2.2.1 Camera

It is preferred that the camera placed on the airplane is light enough to not affect the flight. In addition, the camera can be fixed on a servo to change the direction of the camera while the vehicle is in the air, and the servo mechanism can be fitted with spare channels on the flight control board. For the servos of such cameras to be available, the number of channels of the air vehicle control system must be suitable. Also available with Go-Pro-style lightweight cameras are systems that do not have telemetry requirements and are available with higher quality images.

2.2.2.2 OSD

On Screen Display (OSD) is a system that transmits parameters such as battery level to the ground station with the FPV system. In this way, the UAV control personnel can see that the battery level or attitude of UAV. In addition to the battery level, the OSD system can also add information such as position, status, and speed of the aircraft to the camera image.

2.2.2.3 Telemetry

Used to monitor and control a system remotely. The telemetry system is used in the FPV system when the video from the camera is transmitted to the ground control station. The operation of the telemetry system is affected by obstacles such as the mountain, building between the distance between two antennas. In addition, weather condition such as rain, snow, fog, storm are factors that affect the quality of the system. The fields of application of the telemetry system are used in tasks such as meteorology, petroleum industry, space science, unmanned aerial vehicles technology, defense industry, rocket science, medical and health fields, fisheries and wildlife conservation.

2.2.2.3 Screen

It is an electronic device consisting of LCD panel which is used to process signals from telemetry system. Some FPV systems include systems that can be used as pilot glasses instead of monitors.

2.2.3 Lighting System

The Civil Aviation General Directorate must be illuminated in order to carry out UAV night flights according to the instructions for unmanned aerial vehicles. In order to easily detect the directions of the novel tricopter, the right moment arm is colored green, the left moment arm is red, and the aft moment arm at the rear of the tricopter is white.

2.3 Morphing System

The moment arm that connects the motors to the body will be subjected to less drag force when moving in the air with the reason that the shape is at the wing. Novel tricopter, which is exposed to less drag force, ensures fuel economy and performance. The novel tricopter is also designed with a morphic system so that it can fly more stable in bad weather condition like wind. The morphic system is realized by the extension of the moment arms in bad weather conditions by the help of servo motors built into the shaft of the wing profile.

The moment on the tricopter is taken according to the center of gravity. The large momentum of the lifting forces of each motor and the vertical distance of the centers of the lift forces to the center of gravity contributes to the more comfortable flight of the aircraft.

3. Results and Discussion

When selection material of novel tricopter, conceptual design should be prepared. In the concept design stage, the configurations of the aircraft components were selected by evaluating the different configurations in terms of compliance with the design requirements. In this design stage, novel tricopter features should be determined such as the working conditions, how heavy, which systems will be used. After the determine features of novel tricopter, solid modelling should be done. The structure of the novel tricopter should be optimized by numerical analysis of the solid model. Numerical modeling helps to make aerodynamic and system tests. Major changes should not be made in the production stage after the design is made. Because the changes that have been made may changes such as size and weight and performance will change and redesign is required.

Body configuration;

Most important design stage is choose a material of novel tricopter. Early aircraft designer want to make a more powerful and bigger aircraft, but modern UAV systems purpose that more flight time with less power. So that, material of UAV should be light and most effective. It is why composite material technology is popular in aerospace industry. Composite material allows that withstand higher loads and make lighter aircraft. Composite materials is more durable than traditional meterials. Fiber materials which are organic or inorganic in structure have many advantages such as strength and stiffness by combining with resin. Composite materials are also more advantageous than metals due to their easy shape change. Composite body has been preferred for novel tricopter manufacturing because of its many advantages.

Propulsion system;

Novel tricopter has three motor, propeller and electronic speed controller circuit. In addition, novel tricopter has one battery and servo motor. The propellers must have high strength because the propellers produce the forces necessary for the novel tricopter to fly. Carbon fiber composite material propeller was preferred. Thus, both lightweight, durable and flexible structure propeller was used.

As the propellers need to rotate fastly and powerful, a brushless DC motor, which can reach high torque and rpm values, is preferred. High power requires high current so Li-po battery with high current values is used. The propulsion system was determined considering the need of the novel tricopter. In the literature, the thrust requirements of rotary wing unmanned aerial vehicles are at least twice the total weight of the aircraft.

After the prototype extraction process is completed, two main tests are performed: thrust system tests and flight tests. As a result of these tests, the aircraft can be optimized. Thrust system tests are performed to ensure the compatibility between the electric motor, propeller, battery, electronic speed control circuit and receiver of the system and to obtain the best performance. Flight tests include flights that are recorded by means of a form of environmental parameters, especially air density, air temperature, wind strength and humidty content. The data gathered during the flight tests, the best flight time were considered and the success of the flight tests and the data were compiled.

The biggest difference between traditional and novel tricopter is the morphic mechanism. Novel tricopter has morphic moment arm. The motors are connected to these morphic moment arms. So, there will be a difference in torque between the moment arms when they are short and long. As the moment arms are longer, more force is generated. So that, it helps to achieve a more stable flight, especially in windy weather.

4. Conclusion

Unmanned aerial vehicles have become more popular than other aircraft due to many reasons such as cost, ease of use and safety. In unmanned aerial vehicles, rotating wings also have advantages compared to fixed wing unmanned aerial vehicles due to lack of runway needs, low speeds to fly and even hanging in the air. Unmanned aerial vehicles with rotating wings are useful and economical in small areas. Both conventional helicopters and multicopters have demonstrated superiority in tasks that require precision, such as imaging and mapping.

Errors were caused by vibrations in unmanned aerial vehicles with rotating wings used in aerial imagery, mapping and defense industries. In rotating wing unmanned air vehicles, helicopters with single propeller, have disadvantages such as complicated structures, vibrating and audible works; customers search for new design of rotating wing UAV. Despite the preference for 4-engine and propeller UAV, which provide a more stable flight compared to the helicopter, maneuverability was limited and there were disadvantages with regard to energy consumption. Tricopters, which minimize the adverse effects of classical helicopters and quadcopters, have proven themselves in recent years, such as fuel consumption and maneuvering. Tricopters, which are mostly used in hobby or academic researches that are not commercially produced, are aerodynamically inadequate and have problems due to unstable flying in bad weather conditions. In this study, the development of negative aspects of tricopter was discussed and propulsion system of novel tricopter was designed. Unlike other tricopter, the novel tricopter has improved stability and performance with aerodynamic body and morphic mechanism.

5. Acknowledgements

This study was supported by Erciyes University Scientific Research Project Coordination Unit (Project Number: FYL-2017-7591). We thank Erciyes University BAP Coordination for their support.

References:

- Maziar, A., Shane, A., Matthew, M., Matthieu, N., and Tong, Z. (2012). Classification of Unmanned Aerial Vehicles. The University of Adelaide
- COŞKUN, M. Z. (2012) “Düşük Maliyetli İHA (İnsansız Hava Aracı) ile Mobil Harita Üretimini Bugünü ve Geleceği”, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, vol: 4, No: 2, p.11-18
- Nonami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., and Nakazawa, D. (2010). Autonomous Flying Robots: Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles. Springer.
- Merç, Y., and Bayılmış, C. (2011). Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı (Quadrotor) Uygulaması. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey
- Özdemir, U. (2015). Dikey İniş Kalkış Yapabilen Sabit Kanatlı İnsansız Hava Aracı Tasarım, Üretimi Ve Uçuş Testleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Naze 32 Rev6 manual (2015), <http://www.robotshop.com/media/files>
- Budiyono, A. (2007), Advances in unmanned aerial vehicles Technologies, Chinese science bulletin, Vol.52, No.1, pp.1-12.
- MPU-6000 and MPU-6050 register map and Descriptions (03/09/2012), <https://store.invensense.com/Datasheets/invensense/>
- OKTAY T., KONAR M., MOHAMED M. A., AYDIN M. , ŞAL F., ONAY M. (2016), Autonomous Flight Performance Improvement of Load Carrying Unmanned Aerial Vehicles by Active Morphing, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, vol.10, p.123-132.
- Staples, G. (2013). Propeller Static & Dynamic Thrust Calculation, <http://electricrcaircraftguy.blogspot.com>.
- Barsk KJ. (2012), Model predictive control of a tricopter, Linköping, Linköpings universitet
- Schneider, B. (2011). A Guide to Understanding LiPo Batteries <https://rogershobbycenter.com/>
- Oktay T. , Konar M. , Onay M. , Aydın M. , Mohamed M. A. (2016), Simultaneous small UAV and autopilot system design, *AIRCRAFT ENGINEERING AND AEROSPACE TECHNOLOGY*, cilt.88, ss.818-834
- Schofield, L. (2015). Understanding Electronic Speed Controllers (ESC) <http://painless360.webs.com>
- Emma, M. Australia (2000) Propeller & Propulsion Terminology, <http://www.propellerpages.com>
- Oktay, T. and Şahin, H. (2017). Powerplant system design for unmanned tricopter. The Euroasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics, vol.1, p.1-5
- Noami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., Nakazawa U., 2010. Autonomous Flying Robots, Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles. Springer, Tokyo, pp. 329.
- Şahin, H., Oktay, T. (2017), Powerplant system design for unmanned tricopter, International Conference on Technology, Engineering and Science (IconTES), pp.1-14.
- Karabulut, O., (2012) İnsansız hava aracı sistem tasarımı, date: Ocak 2018 site: (https://www.academia.edu/9558436/%C4%BONSANSIZ_HAVA_ARACI_S%C4%BOSTEM_TASARIMI).
- Staples, G., (2013) Propeller static & dynamic thrust calculation, date of access: Jan. 2018, web pages: <http://electricrcaircraftguy.blogspot.com>),



Sahte Web Sitelerinin Sınıflandırma Algoritmaları İle Tespit Edilmesi

Adem Korkmaz^{1*}, Selma Büyükgöze²

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enformatik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7530-7715)

² Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kırklareli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6559-7704)

(İlk Geliş Tarihi 1 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 2 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.598036)

ATIF/REFERENCE: Korkmaz, A. & Büyükgöze, S. (2019). Sahte Web Sitelerinin Sınıflandırma Algoritmaları İle Tespit Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 826-833.

Öz

Günümüzde kimlik avı yapan sahte web sitelerinin sayısı oldukça artmıştır. Bu web sitelerinin amaçları genel anlamda kişilerin, kişisel bilgilerini ele geçirerek çıkar sağlamaktır. Sosyal medya hesaplarımızdaki kimlik ve parola bilgilerimiz, alışveriş sitelerindeki kimlik ve adres bilgilerimiz bize ait kişisel bilgilerimizdir. Bu tür bilgiler istenmeyen kişilerin eline geçmesi durumunda, tahmin bile edemeyeceğimiz kötü sonuçlar doğurabilmektedir. Ayrıca online bankacılık işlemlerimiz gibi finansal işlemlerimizin önemli bir kısmını internet ortamında yapıyor olmamız bu tür sitelerden korunmamız açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu amaçla antivirüs yazılım firmaları, tarayıcılar, arama motorları daha iyi kullanıcı hizmeti ve memnuniyet sağlamak açısından bu tür zararlı sitelerden kullanıcılarını korumak için çalışmalar yapmaktadırlar. Ayrıca sahte web sayfalarının kullanıcıların önüne gelmeden tespit edilip engellenmesi günümüz yapay zeka çalışmalarında önemli bir çalışma alanı olmaktadır. Hergün milyarlarca insanın gezindiği internet ortamında bu sahte sitelerden korunmasının en kolay yöntemi, sahte web sayfalarının otomatik olarak tespit edilip engellenmesi olacaktır. Makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları ile bir sayfaya ait bilgilere bakarak sistem tarafından otomatik olarak sahte veya gerçek olarak tespit edilmesi yapay zeka çalışmalarının sunduğu önemli avantajların başında gelmektedir. Bu çalışma ile bir web sitesi adresine ait belirlenmiş 10 özellik kullanılarak; bu adresin sahte mi, yoksa gerçek bir adres mi olduğu tespit edilmeye çalışılmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler Machine Learning Repository (UCI)'dan alınmıştır. Verilerin analizi Çapraz Endüstri Standart Süreç Modeli(CRISP-DM) baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Veri setinde web sitelerinin durumunu belirleyen nitelik (Class, Kimlik Avı=-1, Şüpheli=0 ve Meşru=1) olarak etiketlenmiştir. Çalışma da RStudio kullanılarak R programlama dili ile analizler yapılmıştır. Kullanılan sınıflandırma algoritmaları Rastgele Orman (RF), Destek Vektör Makineleri (SVM), J48, K-En Yakın Komşu (KNN) ve Naive Bayes algoritmalarıdır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Rastgele Orman algoritması ile en yüksek doğruluk performansı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sahte site, Kimlik avı, Makine Öğrenmesi.

Detection of Fake Websites by Classification Algorithms

Abstract

Nowadays, phishing web sites have been increased. The purpose of these sites is to obtain benefits by acquiring personal information of people in general. Our identity and password information in our social media accounts and identity and address information on shopping sites are our personal information. If such information is received by unwanted people, it can have bad unpredictable consequences. In addition, the fact that we carry out a significant portion of our financial transactions such as our online banking transactions on the internet constitutes an important problem in terms of protection from such sites. For this purpose, antivirus software companies, browsers, search engines are working to protect users from such harmful sites in terms of providing better user service and satisfaction. In addition, the detection and prevention of fake web pages before the users is an important area of work in today's artificial intelligence studies. The easiest method of protecting these fraudulent sites in the internet environment where billions of people are browsing every day will be to detect and block fake web pages automatically. Machine learning classification algorithms

* Sorumlu Yazar: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enformatik Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7530-7715, korkmazadem@hotmail.com

are automatically identified as fake or real by the system by looking at the information of a page and this is one of the important advantages offered by artificial intelligence studies. With this study, using 10 properties determined for a website address; it is attempted to determine whether this address is a fake or a real address. The data used in this study were taken from Machine Learning Repository (UCI). Data analysis was performed based on the Cross Industry Standard Process Model (CRISP-DM). In the data set, it is labeled as the attribute that determines the status of websites (Class, Phishing = -1, Suspicious = 0 and Legitimate = 1). The study was also done by using RStudio analysis with R programming language. The classification algorithms used are Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM), J48, K-Nearest Neighbor (KNN) and Naive Bayes algorithms. The highest accuracy performance was obtained by Random Forest algorithm.

Keywords: Fake site, Phishing, Machine Learning.

1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte internet hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuş ve çoğu zaman hayatımızı kolaylaştırmıştır. Eskiden bankaya gidip yaptığımız işlemlerimizi artık evden ya da iş yerimizden internet aracılığıyla halledebilir hale gelmiş durumdayız. Faturalarımızı ödeyebilir, hesabımızdan para aktarabilir, döviz işlemlerimizi bile yapabiliriz. Ayrıca internetteki web siteleri aracılığıyla alışveriş de yapabilmekteyiz. Ancak bu işlemlerimizi yaparken güvenliğimize ne kadar dikkat ediyoruz? Öncelikle internet kullanım oranlarımıza bir bakalım.

We are Social ve Hootsuite tarafından hazırlanan “Digital in 2018 Western Asia” istatistiklerine göre Dünya’da 4,02 milyar internet kullanıcısının 5,14 milyarı ise mobil internet kullanıcısından oluşmaktadır. Bu da demek oluyor ki; Dünya popülasyonun %53’ü internet kullanırken; bu oranın %68’i ise mobil interneti kullanmaktadır. Verilen sonuçlarda bir önceki yıla göre mobil internet kullanım oranı ise %4 oranında 218 milyon kişi artmıştır. Türkiye’de ise nüfusun %67’sine tekabül eden 54.33 milyon kişinin internet kullanıcısı, mobil kullanıcı sayısının 51.45 milyon olduğu verilmektedir (Kemp, 2018). Bu durum bize internet ve mobil internetin hayatımızda ne kadar önemli bir rolü olduğunu göstermektedir.

Phishing ya da oltalama/yemleme bazı yerlerde ise e-tuzak, kimlik avı gibi kelimelerinin karşılığında banka şifresi, kredi kartı bilgileri, mail şifresi, kullanıcı şifresi gibi tamamen kişisel bilgilerin çalınması için yapılan bir elektronik aldatmaca işlemidir. Genellikle sosyal mühendislik yöntemi kullanılarak e-posta veya anlık mesaj halinde kullanıcıya yapılan bir dolandırıcılık türüdür (Sönmez, 2017). Bankalardan gelen şifre yenileme linki ya da alışveriş sitelerinden gelen cazip postalara tıkladığınızda bire bir aynı tasarım ile yapılmış; ancak orijinal siteyle alakası olmayan başka bir web sitesine yönlendirilirsiniz ve gerekli olan teknik bilgiye sahip değilseniz; bilgilerinizi bu siteye girdiğinizde hesaplarınıza ya da bilgilerinize ulaşip sizi dolandırabilirler. Eğer dikkatli olunmazsa hem maddi hem de manevi olarak büyük zarar verebilirler.

Phishing ile kredi kart numaranızı ve kartınızın güvenlik kodunu (CVC), şifrelerinizi, hesap parolalarınızı, hatta banka hesap numaranızı çalabilirler. Bunun için rastgele kullanıcılara, rastgele mailler atılmaktadır. Bu yöntem genellikle e-posta ile olmaktadır. Hesabınızın çalındığına dair gelen bir e-posta, şifrenizin yenilenmesinin gerektiğine dair gelen bir mail, dikkatli olmadığınız takdirde sizi kimlik avının eşiğine getirebilmektedir.

Phishing’den korunmak için yapılabilecekler bakıldığında;

- İlk olarak kimden geldiğini bilmediğimiz mailleri açmamak,
- Bankaların bize şifre yenilemesi ya da kullanıcı bilgileri soran mail atmayacağını bilmek ve o linklere tıklamamak,
- Yarışmadan büyük meblağlar kazanıldığına dair gelen postaları açmamak,
- Yurtdışı bankalardan, adınıza ait hesapta büyük miktarda para olduğuna dair gelen mailleri dikkate almamak,
- Kısaltılmış internet sitesi adreslerini açmamak,
- İşlemleri online yaparken bulunduğumuz internet sitesinin güvenli olup olmadığını kontrol etmek, <https://> protokolünün uygulanmasına dikkat etmek,
- SSL sertifikasının olup olmadığına bakmak (sayfanın altındaki kilit işareti),
- Arkadaşlarımızdan gelmiş olsa bile bilmediğimiz internet sitesi adreslerine girmemek,
- Linklere tıklamak yerine tarayıcıya kendimiz o internet adresini yazmak,
- İnternet adresi sayılardan oluşuyorsa ya da çok uzunsa bu durumda o internet adresinden kuşulanmak ve siteyi açmamak,
- Kullandığımız cihaza ve bağlandığımız kablosuz ağa dikkat etmek (ücretsiz olan ya da şifresiz ortak alan kablosuz ağlarından giriş yapmamak),
- Kullanıcı şifrelerinizi sık sık değiştirmek,
- Her bir hesabınız için karmaşık (güvenlik seviyesi yüksek, sayı ve karakterlerden oluşan) şifreler belirlemek,
- Kullandığımız bilgisayar ya da akıllı telefonun işletim sistemini güncel tutup, antivirüs ile güvenliğini sağlamak, sayılabilir.

Phishing yapmanın tek yolu e-postalar değildir. Keylogger ya da Screenlogger adı verilen uygulama yazılımları ile bilgisayarınızda yazdığınız her karakter (keylogger), işaretlediğiniz her alan (screen-logger) karşı tarafa gönderilir. Böylece size ait olan kişisel bilgileriniz çalınabilir. Bu yazılımlar ise siz farkında olunmadan truva atı aracılığıyla e-posta olarak gelmiş, ya da bir program içinde saklanmış olarak bilgisayarlarınıza kurulmuş olabilir.

Durumu daha iyi analiz edebilmek için; Kaspersky Lab 2018’in 3. Çeyreği saldırı istatistiklerine bakıldığında 246.695.333 tekil URL şüpheli bileşenler içermekte olup, 305.315 kişinin banka hesaplarından bu şekilde para alındığı raporlanmıştır (Chebyshev vd., 2018). Intel Security 2015’te, phishing uygulamasıyla ilgili bilgileri test etmek ve phishingi tespit etme yeteneğini ölçmek için ilginç bir çalışma yayınlamıştır. Bu çalışma için, Intel Security, kişisel verileri çalmak amacıyla hangi e-postaların kimlik avı kullandığını ve hangilerinin yasal e-postalar olduğunu tespit etmeleri için 10 e-posta sunmuştur. Araştırmanın verileri 144 ülkeden toplanmış ve 19.000 kişi araştırılmıştır. Sonuçta, insanların %97’sinin kimlik avı e-postalarını tanımlayamadığını göstermektedir (Paganini, 2015).

Durumun ciddiyeti bu çalışma sonucunda netleşmiş görünmektedir. Her 100 kişiden üç kişi sadece bu postaları ayırt edebilmekte ve bu tuzağa düşmemektedir. Bu durumda geri kalan 97 kişi phishing için potansiyel kurban haline gelmektedir.

Kimlik avından korunabilme yollarından bahsettikten sonra bir web sitesinin gerçek mi yoksa sahte mi olduğunu anlayabilmenin kişilere zarar vermeden bir yolu var mı diye bakıldığında, makine öğrenmesi yoluyla bu işin antivirüs firmaları tarafından da bu şekilde yapıldığı görülmektedir. Makine öğrenmesi, bilgisayarların gerçekleştirdikleri eylemleri daha doğru bir hale getirmek üzere değiştirmesi veya uyarlamasıdır (Marshland, 2015). Kimlik avı hırsızlığı (Phishing) gerçekleştiren web siteleri konusunda kullanıcıları henüz bir hırsızlık gerçekleşmeden uyarabilmek için bu metod kullanılabilir. Literatürde de bu amaçla yapılan çeşitli uygulamalar mevcuttur.

Chiew vd. (2019) UCI'den almış oldukları eğitim seti ile Hibrit Topluluk Özellik Seçimi (HEFS) metodu kullanarak birçok makine öğrenmesi yöntemi denemiş ve Random Forest algoritması ile eldeki özelliklerin sadece %20.8 kullanılarak phishing postalarını %94.6 doğruluk oranıyla bulmuşlardır. Sahingoz vd. (2019) çalışmalarında; 7 farklı sınıflandırma algoritması kullanarak 36.400 normal, 37.175 adet phishing postası arasından, Random Forest algoritması ile %97.98 doğruluk oranıyla kimlik avı yapan postaları bulmuşlardır. Aksu vd. (2019) çalışmalarında derin öğrenme kullanılarak, web sitelerinin sinir ağları ile gerçek olup olmadığı işaretlenmiş ve sınıflandırma yöntemleri olarak Vektör Makinesi, Karar Ağacı Ve Yığılmış Otomatik Kodlayıcılar (stacked automatic encoders) kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, derin öğrenme tekniklerinin bir parçası olan yığılmış otomatik kodlayıcılar ile %86 başarı oranına ulaşılmıştır. Kalaycı (2018), çalışmada makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılmasını gerçekleştirmiş olup, 9 farklı özellik içeren 1.353 örnekten oluşan bir veri kümesinden yararlanmıştır. Rastgele Orman (RF) daha başarılı olsa da çapraz doğrulamanın kullanıldığı durumda çok katmanlı algılayıcı daha yüksek bir başarı elde etmiştir. Koşan vd. (2018) çalışmalarında Phishing Websites adlı veri seti kullanılmış ve RF ve PRISM algoritmalarının doğruluk oranında yüksek başarı gösterdiği ortaya çıkmıştır. Fette vd. (2007) çalışmalarında PILFER adlı makine öğrenmesi yaklaşımını kullanarak 860 phishing postası ve 6.950 gerçek posta arasından kimlik avı yapan sitelerin doğruluk oranını %92 olarak bulmuştur. Miyamoto vd. (2008) çalışmalarında kimlik hırsız web sitelerinin sınıflandırılması için 9 makine öğrenme tekniği kullanmış olup, 1.500 gerçek, 1.500 sahte e-posta arasından %83 ile RF algoritmasının en yüksek başarıyı vermiştir. Basnet vd. (2008) Phishing Corpus (2006) ve Spam Assassin (2006) veri setlerini kullanarak 4.000 posta içerisinden 973 phishing postasını %97.99 doğruluk oranı ile Biased Support Vector Machine (BSVM) ile bulmuşlardır.

2. Materyal ve Metot

Web sitelerinin sahte veya gerçek mi olduklarının tespitine yönelik yapılan bu çalışmada, veri madenciliği projelerinin daha az maliyetli, daha güvenilir, daha tekrar edilebilir, daha kolay yönetilebilir ve daha hızlı bir duruma getirmeyi amaçlayan Endüstri Çapraz Standart Süreç Modeli (CRISP-DM) ile analiz süreçleri gerçekleştirilmiştir.

2.1. Problemin Tanımlanması

Çalışmada internet kullanıcıların sıklıkla karşılaştıkları ortalama (Phishing) sitelerinin gerçek veya sahte oldukları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda kullanıcıların karşılaşacakları web sitelerinin durumunun tespiti için makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı ve bu algoritmaların performans ölçütlerinin karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda Machine Learning Repository (UCI)'da erişime açılmış, 1.353 web sitesine ait veri bulunmaktadır (Abdelhamid vd., 2014). Bu araştırma, web sitelerinin durumuna göre sitenin sahte içerikli bir web sayfası veya gerçek bir web sayfası olduğunu ortaya koyacak en yüksek performansa sahip sınıflandırma algoritmasını bulmayı amaçlamaktadır. Elde edilen en yüksek performansa sahip algoritma ile gelen web sayfaları temel özelliklerine göre filtreleme işlemi yapılarak zaman, maliyet ve en az zararla işletmenin durumu atlatması öngörülmektedir.

2.2. Veriyi Anlama

Çalışmada kullanılan veri seti, ücretsiz veri ambarlarından Machine Learning Repository (UCI)'den elde edilmiştir. 2016 yılında UCI'ye bağışlanan bu veri seti Phish Tank arşivi ve Yahoo'dan PHP'de geliştirilen bir script dosyası ile toplanmıştır. Elde edilen veriler 1.353 örnek ve 10 niteliğe sahiptir (Abdelhamid, vd., 2014). Verilerin 548'i meşru site, 702'si kimlik avı ve 103 URL ise şüphelidir. Veri setinin niteliklerine ait özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Nitelikler incelendiğinde hepsinin kategorik verilerden oluştuğu görülmektedir. Veri setindeki 9 nitelik tahmin etmek için, 1 nitelik ise sonuç sınıfını vermekte olup veri setinde kayıp değer sayısı ise 0'dır.

Tablo 1. Veri seti nitelik değerlerinin özellikleri

Öznitelik Adı (Tahmin Edici Nitelikler)	Açıklama	Veri Tipi
Farklı Bir Pencere (SFH)	SFH "" about: blank\ "" ya da Boş mu → Kimlik Avı SFH "Farklı Bir Etki Alanını" İfade Ediyor → Şüpheli Otherwise → Meşru	Kategorik
Açılır Pencere (popUpWindow)	Sağ Tuş Devre Dışı → Kimlik Avı Sağ Tuş Uyarı Veriyor → Şüpheli Aksi takdirde → Meşru	Kategorik
Sertifika Durumu (SSLfinal_State)	HTTPS var ve Sertifikalı ve Sertifikanın Yaşı ≥ 2 Yıl → Meşru HTTPS var ve Sertifika Yok → Şüpheli Aksi takdirde → Kimlik Avı	Kategorik
Siteki Url Yüzdesi (Request_URL)	İstek URL'sinin Sayfanın $<22\%$ → Meşru İstek URL'sinin Sayfanın $\geq 22\%$ ve $<61\%$ → Şüpheli Aksi halde → özellik = Kimlik Avı	Kategorik
Farklı Siteye Link (URL_of_Anchor)	Çapa URL'sinin Yüzdesi $<31\%$ → Meşru Çapa URL'sinin Yüzdesi $\geq 31\%$ And $\leq 67\%$ → Şüpheli Aksi takdirde → Kimlik Avı (a href="JavaScript ::void(0)")	Kategorik
Web Trafiği (web_traffic)	Web Sitesi Sıralaması <150.000 → Meşru Web sitesi sıralaması > 150.000 → Şüpheli Aksi takdirde → Kimlik Avı	Kategorik
Link Uzunluğu (URL_Length)	URL uzunluğu <54 → özellik = Meşru URL uzunluğu ≥ 54 ve ≤ 75 → özellik = Şüpheli Aksi halde → özellik = Kimlik Avı	Kategorik
Site İsmi Yaşı (age_of_domain)	Domain Yaşı ≥ 6 ay → Meşru Aksi takdirde → Kimlik Avı	Kategorik
URL içerisinde IP olması (having_IP_Address)	URL bilgisinde içinde bir IP Adresi varsa → Kimlik Avı Aksi halde → Meşru	Kategorik
Sınıf (Class)	Kimlik Avı, Şüpheli ve Meşru	Kategorik

2.3. Veriyi Hazırlama

Veri seti incelendiğinde tüm verilerin kategorik verilerden oluştuğu ve verilerin değer aralığının ise (-1,1) arasında olduğu görülmektedir. Veriler için bu şekilde herhangi bir normalizasyon işlemine gerek görülmemektedir.

2.4. Model Kurma

Bu çalışmada, web sayfası bilgilerinden oluşan veri setinden elde edilen deneyime bağlı olarak hedef niteliğin doğruluğunu tespit edecek en iyi algoritmanın elde edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda Rastgele Orman (RF), Destek Vektör Makineleri (SVM), J48, K-En Yakın Komşu (KNN) ve Naive Bayes (NB) algoritmalarının kullanılması ile elde edilen performans ölçütlerinin karşılaştırılması ve en iyi performansı sağlayan algoritma tespit edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan bu algoritmalar, sınıflandırma algoritması ve danışmanlı öğrenmeyi kapsayan kategorik veri setimize uygun olduğu için bu çalışmada kullanılmıştır.

2.4.1. Öğrenme yöntemi

Çalışmada mevcut etiketlenmiş girdi değerlerine dayanılarak çıktı değerlerinin tahminini gerçekleştirilmiştir. Yani geçmiş tecrübelerden geleceğe yönelik öngörülerde bulunulmuştur. Bu öğrenme türü danışmanlı (denetimli) öğrenme olarak adlandırılmaktadır (Aydın ve Özkul, 2015). Veri setindeki yüksek sayıda girdi vektörüne sonlu sayıdaki ayırık kategorilerden birinin atanması durumu sınıflandırma olarak ifade edilmiştir (Balaban ve Kartal, 2015). Bu çalışmada da kimlik avı sitelerinin durumları mevcut verilerden analiz edilerek "Kimlik Avı=-1" "Şüpheli=0" ve "Meşru=1" sınıflandırması ile tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2.4.2. Model performans değerlendirme yöntemleri

Bu çalışmada model performans değerlendirme yöntemlerinden k-kat çapraz geçiş yöntemi tercih edilmiştir. K sayısı araştırmalarda çoğunlukla 5 ya da 10 olarak tercih edilmektedir. Bunun için eğitim seti 5 parçaya bölünmüştür. Bu yöntem ile her defasında bir parça test, diğerleri eğitim veri seti olarak alınıp 5 defa bu süreç tekrar edilmiştir. Süreç tamamlandığında ise ortaya çıkan performans değerlendirme ölçütlerinin ortalaması alınmış ve bu ortalama model performansı olarak kabul edilmiştir (Balaban ve Kartal, 2015).

2.4.3. Model performans değerlendirme ölçütleri

Bu çalışmada model performans değerlendirme ölçümü için ikili sınıflandırmaya dayalı performans değerlendirme ölçütleri tercih edilmiştir. Çalışmanın veri setinde hedef niteliğin bulunması yani danışmanlı öğrenmenin kullanıldığı bir sınıflandırma probleminin mevcudiyeti sebebi ile doğruluk, kappa ve f-ölçütü kullanılmıştır. Makine öğrenmesinde sınıflandırma metodu ile oluşturulan modelin

başarısını ölçmek için bu ölçütler sıklıkla kullanılmaktadır. Modellerin performans sonuçlarının tespitinde çoğunlukla, gerçek sınıfların ve tahmin sınıfların değerlerini bulunduran hata matrisinde faydalanılmaktadır (Şirin, 2017).

Kontenjans tablosu/karmaşıklık matrisi gerçek değerlerin bilindiği bir test veri kümesinde bir sınıflandırma modelinin performansını tanımlamak için sıklıkla kullanılan bir tablodur. Elde edilebilecek olası sonuçlar Gerçek Pozitif (TP), Yanlış Pozitif (FP), Yanlış Negatif (FN) ve Gerçek Negatif (TN) elemanlarından oluşmaktadır (Dataschool, 2014).

Tablo 2. Kontenjans Tablosu

		Tahmin Sınıfları	
		Yes	No
Gerçek Sınıflar	Yes	True Positive (TP)	FalsePositive (FP)
	No	False Negative (FN)	True Negative (TN)

Tablo-2'deki verileri kullanılması ile model performans ölçütlerinin hesaplanması aşağıdaki gibidir (Aydemir, 2018):

- Doğruluk-Hata Oranı (Accuracy-Error Rate): Model performansının ölçülmesinde kullanılan en geçerli ve basit yöntem, modele ait doğruluk oranıdır. Doğru sınıflandırılmış örnek sayısının (TP +TN), toplam örnek sayısına (TP+TN+FP+FN) oranıdır. Hata oranı ise bu değer 1'e tamlayanıdır. Diğer bir deyişle yanlış sınıflandırılmış örnek sayısının (FP+FN), toplam örnek sayısına (TP+TN+FP+FN) oranıdır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

- F-Ölçütü (F-Measure): Kesinlik ve duyarlılık ölçütleri tek başına anlamlı bir karşılaştırma sonucu ortaya koymak için yeterli değildir. Her iki ölçütü birlikte değerlendirmek daha doğru sonuçlar verir. Bunun için f-ölçütü (F) tanımlanmıştır. F-ölçütü, kesinlik (K) ve duyarlılığın (D) harmonik ortalamasıdır.

$$F\text{-Measure} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{(\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık})} \quad (2)$$

- Kappa İstatistiği: Landis ve Koch (1977) çalışmasında kappa istatistik değerinin 0,4'ün üzerinde olması durumunda ölçümün tesadüfi olmadığını, uyum kabul edilebileceğini, kappa istatistik değerinin 0,6 ile 0,8 arasında olmasının önemli bir derecede uyum olduğunu göstermektedir. Kappa istatistiği 0,8 ile 1 arasında olması ise neredeyse mükemmel bir uyumun olduğunu gösterdiğini söylemektedir.

$$Kappa = \frac{\text{Topla Doğruluk} - \text{Rastgele Doğruluk}}{(1 - \text{Rastgele Doğruluk})} \quad (3)$$

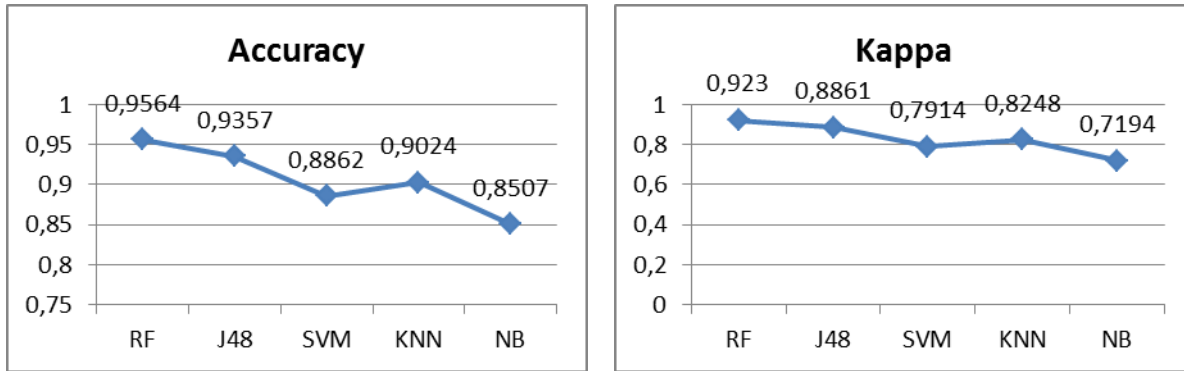
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde deneysel çalışmamızı oluşturan Rastgele Orman (RF), Destek Vektör Makineleri (SVM), J48, K-En Yakın Komşu (KNN) ve Naive Bayes (NB) algoritmalarının web sayfası bilgilerinden oluşan veri setinden ortalama amacıyla kullanılan web sayfalarının doğru tahmin edilebilmesine ait performans ölçütleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. Sınıflandırma Algoritmalarına Ait Karşılık (Confusion) Matrisi

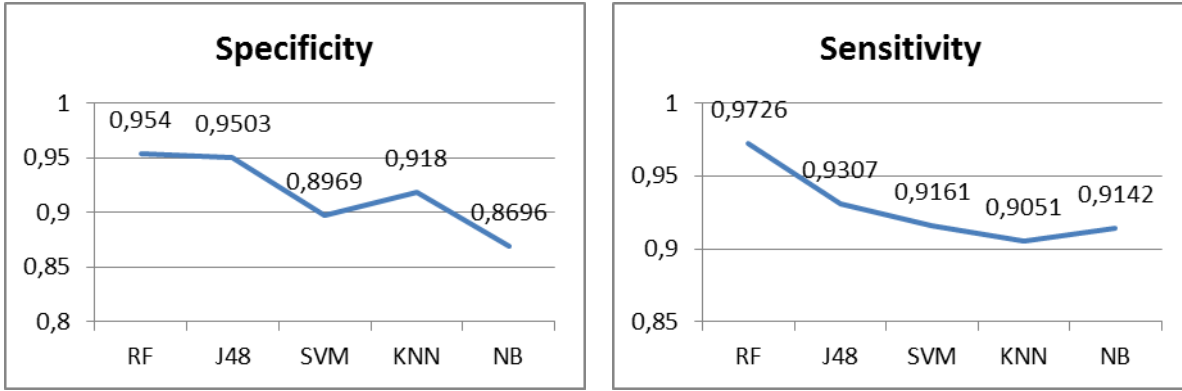
Algoritma	Karşılık Matrisi				
		Meşru	Kimlik Avı	Şüpheli	Toplam
RF		Meşru	Kimlik Avı	Şüpheli	Toplam
	Meşru	533	35	2	570
	Kimlik Avı	10	660	0	670
	Şüpheli	5	7	101	113
J48		Meşru	Kimlik Avı	Şüpheli	Toplam
	Meşru	510	38	2	550
	Kimlik Avı	33	656	1	690
	Şüpheli	5	8	100	113
SVM		Meşru	Kimlik Avı	Şüpheli	Toplam
	Meşru	502	36	47	585
	Kimlik Avı	44	659	18	721
	Şüpheli	2	7	38	47
KNN		Meşru	Kimlik Avı	Şüpheli	Toplam
	Meşru	496	45	21	562
	Kimlik Avı	45	651	8	704
	Şüpheli	7	6	74	87
NB		Meşru	Kimlik Avı	Şüpheli	Toplam
	Meşru	501	52	53	606
	Kimlik Avı	47	650	50	747
	Şüpheli	0	0	0	0

Tablo 3’de modelin performans değerinin tespiti için en çok kullanılan yöntemlerin başında gelen Karşılık (Confusion) matrisi ile tüm algoritmalara ait sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 3’de hedef niteliğimizi oluşturan sınıflara ait doğru ve yanlış tahminlerin değerlere ait verileri sunulmaktadır. Bu değerlere bağlı olarak algoritmaların performans ölçütleri karşılaştırılmıştır. Bu veriler incelendiğinde RF algoritmasının; *Meşru* sitelerden 10 tanesini kimlik avı ve beş tanesini ise şüpheli olarak gördüğü, *Kimlik Avı* sitelerinden 35 tanesini meşru, yedi tanesini şüpheli olarak gördüğü ve *Şüpheli* site kategorisindeki sitelerden yalnızca iki tanesini meşru olarak en az hata oranı ile tespit etmiştir.



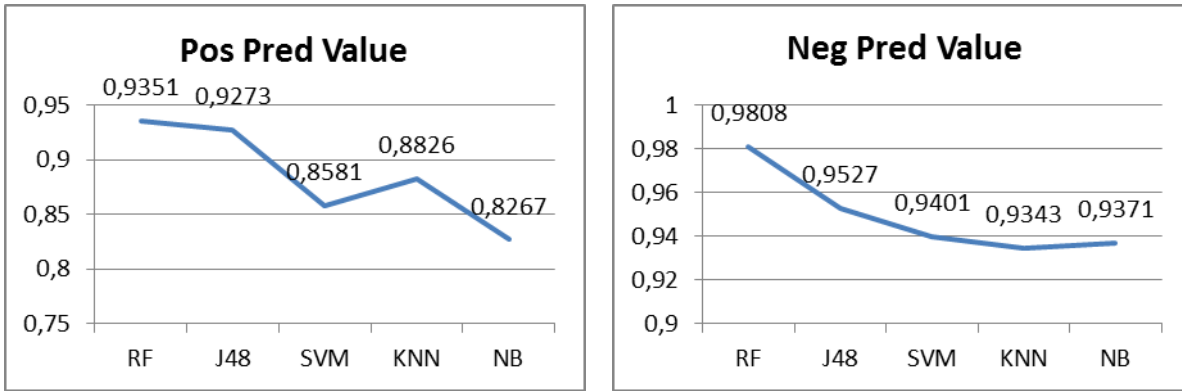
Şekil 1 - Çalışmada Kullanılan Algoritmaların Doğruluk (Accuracy) ve Kappa Ölçütleri

Şekil 1’deki veriler incelendiğinde hedef niteliğimizi oluşturan sınıflardan “Meşru” sınıfın baz alınarak yapılan değerlendirme de en yüksek doğruluk oranını RF algoritması ile elde edildiği, en düşük başarı oranının ise NB algoritması ile elde edildiği görülmektedir. Kappa istatistik değerleri incelendiğinde; 0,8 üzeri mükemmel bir uyum olduğunu gösteren aralık değeri baz alındığında RF ve J48 algoritmalarının en iyi sonucu verdiği görülmüştür.



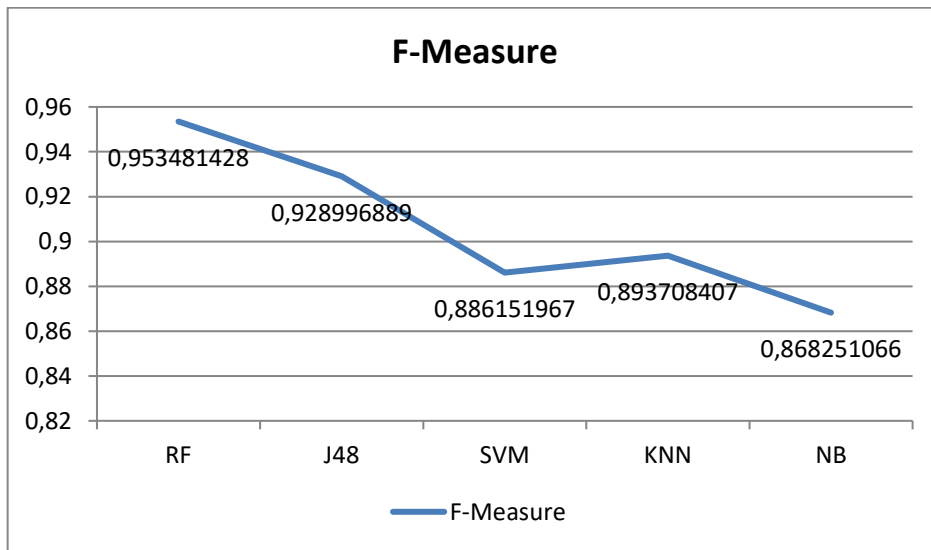
Şekil 2 - Çalışmada Kullanılan Algoritmaların Belirleyicilik (Specificity) ve Duyarlılık (Sensitivity) Ölçütleri

Şekil 2’de Belirleyicilik ve Duyarlılık verileri incelendiğinde hedef nitelik sınıfındaki pozitif ve negatif etiketlerin doğru tahmin edilmesinde RF algoritmasının her iki etiket grubunu da aynı tutarlıkla ve yüksek oranda doğru tahmin ettiği görülmektedir. J48 algoritması Belirleyicilik oranında aynı RF algoritması ile aynı başarıyı sağlarken Duyarlılık oranında aynı başarıyı sağlayamamaktadır.



Şekil 3 - Çalışmada Kullanılan Algoritmaların Pos. Pred. Value ve Neg. Pred. Value Ölçütleri

Şekil 3’de negatif etiketli ve pozitif etiketli sınıflara ait verilerin, ne kadar doğru olarak tahmin edildiğine ait veriler incelendiğinde karşılıklı olarak en tutarlı ve yüksek başarımlı olarak RF algoritması görülmektedir. Doğru kategorinin tespit edilmesinde J48 algoritması RF algoritması ile aynı tutarlılıkta başarımlı sağlarken yanlış kategorinin tespit edilmesinde aynı başarımlı sağlayamadığı görülmektedir.



Şekil 4 - Çalışmada Kullanılan Algoritmaların F-Ölçütü Değeri

Şekil 4’de Kesinlik ve Duyarlılık verilerin harmonik ortalaması olarak verilen F-Ölçütü verileri incelendiğinde en yüksek başarımlı oranının RF algoritması ile sağlandığı anlaşılmıştır. RF algoritmasını sırasıyla J48, KNN, SVM ve NB algoritmaları takip etmektedir.

4. Sonuç

Yapılan çalışma UCI veri deposunda 2016 yılında paylaşılan kimlik avı tespiti amaçlı olarak kullanılan kimlik bilgilerini ele geçirmeyi hedefleyen web sayfalarına ait veriler kullanılmıştır. Çalışmanın amacı hedef web sayfalarının kimlik avı için kullanılıp kullanılmadığını daha önceden tespit etmektir. Kimlik avı amacıyla yapılan sahte web sayfalarının temel gayesi kullanıcıların e-finans ve gizli bilgilerinin elde edilerek çıkar sağlamak oluşturmaktadır. Bu açıdan bakıldığında günümüz bilgi trafiğinin büyük oranda internet ortamında olması bu bilgilerin büyük oranda saldırı altında olmasına sebep olmaktadır. Bu açıdan kullanıcılara yönlendirilen web sayfalarının kimlik avı için kullanılıp kullanılmadığının tespit edilmesi kurum ve bireysel kullanıcılar için durumun en az zararlı atlatılması açısından büyük önem kazanmaktadır.

Çalışmada web sayfalarının kimlik avı için olup olmadıklarını doğru sınıflandırmak için RF, J48, SVM, KNN ve NB algoritmaları analiz edilmiş ve en başarılı algoritma tespit edilmeye çalışılmıştır. Algoritmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında en başarılı sonuç RF algoritması ile elde edilmiştir. RF algoritması hem “Meşru” web sayfalarını, hem “Şüpheli” hem de “Kimlik Avı” web sayfalarını en iyi tahmin eden algoritma olmuştur. RF algoritması çok daha fazla kök ayrımlarını ayırt etmek de olduğundan kategorik verilerin analizinde daha iyi sonuçlar vermektedir. Kappa sonuçları da incelendiğinde tesadüfi olmayan sonuçlar ile mükemmel sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde benzer şekilde RF algoritmasının sahte web sayfalarının tespit edilmesinde yüksek başarımlar sağladığı görülmektedir (Miyamoto vd., 2008; Kalaycı, 2018; Koşan vd., 2018; Sahingoz vd., 2019;).

Çalışmada elde edilen tüm performans ölçütleri birbirlerini teyit ederek aynı sonuçları vermektedir. Bu doğrultuda elde edilen sonuçlarının tutarlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın benzer çalışmalar için geçerli sonuçlar açısından yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Abdelhamid, N., Ayesh, A., & Thabtah, F. (2014). Phishing detection based associative classification data mining. *Expert Systems with Applications*, 41(13), 5948-5959.
- Aksu, D., Turgut, Z., Üstebay, S., & Aydın, M. A. (2019). Phishing Analysis of Websites Using Classification Techniques. In *International Telecommunications Conference* (pp. 251-258). Springer, Singapore.
- Aydemir, E. (2018). Weka ile Yapay Zekâ. *Seçkin Yayınevi, Ankara*.
- Aydın, S., & Özkul, A. E. (2015). Veri madenciliği ve anadolu üniversitesi açıköğretim sisteminde bir uygulama. *Journal of Research in Education and Teaching*, 4(3), 36-44.
- Balaban, M. E., & Kartal, E. (2015). Veri Madenciliği ve Makine Öğrenmesi Temel Algoritmaları ve R Dili ile Uygulamaları. *Çağlayan Kitabevi, İstanbul*.
- Basnet, R., Mukkamala, S., & Sung, A. H. (2008). Detection of phishing attacks: A machine learning approach. In *Soft Computing Applications in Industry* (pp. 373-383). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Chebyshev V., Sinitsyn F., Parinov D., Kupreev O., Lopatin E., Liskin A., (2018). IT threat evolution Q3 2018. Statistics <https://securelist.com/it-threat-evolution-q3-2018-statistics/88689/>, Erişim Tarihi: 25.01.2019
- Chiew, K. L., Tan, C. L., Wong, K., Yong, K. S., & Tiong, W. K. (2019). A new hybrid ensemble feature selection framework for machine learning-based phishing detection system. *Information Sciences*, 484, 153-166.
- Dataschool, (2014). Simple guide to confusion matrix terminology. <http://www.dataschool.io/simple-guide-to-confusion-matrix-terminology/>. Erişim Tarihi: 30.05.2018
- Fette, I., Sadeh, N., & Tomasic, A. (2007, May). Learning to detect phishing emails. In *Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web* (pp. 649-656). ACM.
- Kalaycı, T. E. (2018). Kimlik hırsızları web sitelerinin sınıflandırılması için makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(5), 870-878.
- Kemp S. (2018). Digital in 2018: World's internet users pass the 4 billion mark <https://wearesocial.com/blog/2018/01/global-digital-report-2018>, Erişim tarihi: 25.01.2019
- Koşan, M. A., Yıldız, O., & Karacan, H. (2018). Kimlik avı web sitelerinin tespitinde makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırmalı analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 276-282.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159-174.
- Marshall S. (2015). Machine Learning An Algorithmic Perspective. 2nd ed. New York, USA, *Chapman & Hall/CRC Press*,
- Miyamoto, D., Hazeyama, H., & Kadobayashi, Y. (2008, November). An evaluation of machine learning-based methods for detection of phishing sites. In *International Conference on Neural Information Processing* (pp. 539-546). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Paganini P., (2015). New Intel Security study shows that 97% of people can't identify phishing emails. <http://securityaffairs.co/wordpress/36922/cyber-crime/study-phishing-emails-response.html>, Erişim Tarihi: 25.01.2019
- Phishing Corpus (2006), <http://monkey.org/~jose/wiki/doku.php?id=PhishingCorpus>
- Sahingoz, O. K., Buber, E., Demir, O., & Diri, B. (2019). Machine learning based phishing detection from URLs. *Expert Systems with Applications*, 117, 345-357.
- Sönmez, Ü. (2017). “Bilişim Sistemleri Aracılığıyla Dolandırıcılık Suçu”. *Dicle Üniversitesi Adalet Meslek Yüksekokulu Dicle Adalet Dergisi*, 1(2), 47-68.
- Spam Assassin (2006), <http://spamassassin.apache.org/>
- Şirin, E., (2017). Hata Matrisini (ConfusionMatrix) Yorumlama. <http://www.datascience.istanbul/2017/07/02/hata-matrisini-confusion-matrix-yorumlama/>. Erişim Tarihi: 29.05.2018.



Hidrofobik Bakır Stearat Sentezinin Box-Benhken Tasarımıyla Modellenmesi

Seyfullah Keyf^{1*}

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Kimya Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8846-0674)

(İlk Geliş Tarihi 10 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 5 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.551852)

REFERENCE: Keyf, S., (2019). Hidrofobik Bakır Stearat Sentezinin Box-Benhken Tasarımıyla Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 834-840.

Öz

Süperhidrofobik yüzeyler nanoteknolojinin bir uygulaması olup, yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Su damlası temas açısı 150°'den büyük temas açısına sahip ise "süperhidrofobik", 90-150° arası olanlar hidrofobik olarak tanımlanır. Bir yüzeyin süperhidrofobik özellik gösterebilmesi için üzerinde mikrometre mertebesinde pürüzlülüğe sahip malzemeden hazırlanmış olması gerekir. Hidrofobik kaplama, günümüz şartlarında sıklıkla ihtiyaç duyulur hale gelmiştir. Bu amaçla mikron ölçekte bakır stearat sentezlenmiştir. Reaksiyon sıcaklığı, karıştırma hızı ve karıştırma zamanı değişken parametreleri Box-Behnken tasarımı kullanılarak temas açısı ölçümleri için cevap fonksiyonu oluşturulmuştur. Cam yüzeyi üzerinde suyun temas açısının açısı 35°±2 derece olduğu ölçüldü. Bakır stearat sentez için yapılan deneylerde sırasıyla sıcaklık, reaksiyon zamanı ve karıştırma hızı incelendi. 20, 40, 60 °C sıcaklık, 2, 6, 10 dak. reaksiyon zamanı ve 200, 400, 600 rpm karıştırma hızı değişkenlerine göre yapılan deneylerde cam yüzey üzerine yapılan kaplamaların temas açıları 126-138.5° arasında değişmektedir. Üç faktörlü Box-Behnken tasarım yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen cevap yüzeyi ile bağımsız değişken arasında elde edilen grafikler ve cevap yüzeyi denklemi incelendiğinde; en önemli parametrenin sıcaklık olduğu, ikinci önemli parametrenin karıştırma hızı olduğu, reaksiyon zamanı parametresinin ise temas açısındaki etkisinin çok az olduğu belirlendi. Reaksiyon zamanı yerine öncelikle pH, katı sıvı derişimi faktör olarak incelenmesinin yararlı olacağı belirlendi.

Anahtar Terimler: Bakır Stearat, Box-Behnken Tasarımı, Hidrofobik

Response Surface with Box-Behnken Design for Hydrophobic Copper Stearate Synthesis

Abstract

Superhydrophobic surface is one of the applications of nanotechnology and intensive researches have been done in this subject. Surfaces that have water contact angles larger than 150° are called "superhydrophobic" and between 90 -150° are called "hydrophobic". To exhibit superhydrophobic feature, a surface should have both micron scale roughness and inherently should have been prepared by a hydrophobic material. Hydrophobic coating frequently used in different sectors at the present time. For this purpose it was synthesized nanoscale copper stearate. Reaction temperature, stirring speed and stirring time response function for variable parameters Box-Behnken design using contact angle measurements were formed. The water contact angle on the glass surface was measured to be 35°±2 degrees. In the experiments for copper stearate synthesis, temperature, reaction time and stirring speed were examined respectively. 20, 40, 60 °C temperature, 2, 6, 10 min. reaction time and 200, 400, 600 rpm, the surface angle of the coatings on the glass surface varies between 126-138.5°. Three-factor Box-Behnken design method was used. When the obtained graphs and the response surface equation between the obtained response surface and the independent variable are examined, It was determined that the most important parameter was the mixing speed, the second important parameter was the temperature, and the reaction time parameter had very little effect on the ignition. It was determined that it would be appropriate to select primarily pH, solid liquid concentration in factor instead of reaction time.

Keywords: Copper Stearate, Box-Behnken Design, Hydrophobic.

¹ Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Kimya Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8846-0674, keyf@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Süper hidrofobikliğin bilim dünyasıyla tanışması nilüfer bitkisinin yapraklarının bu özelliğe sahip olmasının keşfiyle başladı. nilüfer, drosera, okalipütüs, ginkgo biloba, sütleğen gibi bitkilerin ve irisün süper hidrofobik yapıya sahip olduklarını belirtmişlerdir. Bu yüzeylerin ortak özellikleri; yüzeyleri hidrofobik yapan çoğunlukla yüzeyindeki —CH₂— gruplarından oluşan parafinik balmumu kristalleriyle kaplı olmalarıdır (Barthlott ve Neinhuis, 1997).

Basit bir ifadeyle ıslatmama özelliğine sahip süper hidrofobik eldesi için birincisi yüzey enerjisi düşük olan bir malzemenin yüzeyini pürüzlü hale getirmek, ikincisi ise pürüzlü olan bir yüzeyi yüzey enerjisi düşük olan bir malzeme ile modifiye etmektir (Minglin ve Randal, 2006).

Doğal süperhidrofobik lotus çiçeği, lotus yapraklarının SEM fotoğrafları incelendiğinde nano ve mikro yapıların yüzeye pürüzlülük kazandırdığı gözlemlenmiştir. Pürüzsüz bir yüzeye sahip olmak yerine, mikroskobik veya moleküler ölçekte bir yüzey desenine sahip olmak büyük farklar yaratıyor. Su damlaları lotus yaprağı üzerinde 150 derece civarında bir temas açısına sahiptir. Superhidrofobik özellik göstermektedir. Lotus bitkisi kendini %99 temiz tutmayı başarıyor (Bharat, 2016). Süper hidrofobik bir yüzeyin üretimi uygun pürüzlülükte düşük enerjili bir yüzey oluşumu gereklidir. Pürüzlülük, eğim kriterlerine tamamen yerine getirmeli ve düşük enerjili yüzey Young temas açısı ile bağlantılı olmalıdır. Nakajima ve arkadaşları tarafından superhidrofobik yüzey oluşturmak için dolgu maddelerinin ilavesi (silika taneleri, PTFE taneleri, cam taneleri), püskürtme metoduyla, plazma polimerizasyonu, florit taneleriyle kaplayarak, CVD tekniği ile, ilave malzemelerin süblimasyonu, faz ayrışımı ve kalıplama şeklinde metodlar mevcuttur (Nakajima ve ark., 2001).

Ma ve arkadaşları tarafından süperhidrofobik yüzeylerin elde edilmesinde düşük yüzey enerjili maddelerle yüzeyin pürüzlü hale getirilmesi ve pürüzlü yüzeyin düşük yüzey enerjili madde ile modifiye edilmesi şeklinde basitçe iki ana grupta incelenmiştir. Yapılan çalışmada yüzey morfolojisi ve ıslanma özelliği arasındaki ilişki teorik olarak açıklanmıştır (Ma ve Hill , 2006). Yüzeylere hidrofobik ve oleofobik özellik kazandırmak amacıyla kullanılan flor karbonlu yapılar genellikle 2 kategoride toplanmaktadır. Bunlar; ana zincir yapısında sadece C-F bağına sahip olan flor polimerler ve yapısında flor ve klor veya hidrojen gibi diğer atomlar bulunduran flor kimyasallar olup daha az C-F bağı içerirler. Florun yapıya sağladığı atmosfer direnci, düşük sürtünme katsayısı, yüzeyde kir-su tutmama, gibi karakteristik özelliklerden dolayı kaplamalarda oldukça caziptir (Jiri, 2001).

Gu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada su temas açısı 146 dereceden büyük saydam süperhidrofobik film üretmek için kendi kendine toplanmış silika nano-tanecikler ve heptadecaflorodesiltrimethoksilan (HFTS) bazlı basit bir yöntem kullanılmışlardır (Gu ve ark., 2006). Daoud ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada hidrofobik modifiye edilmiş silika nanokompozitler düşük sıcaklık sol-gel prosesi kullanılarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada alkyltriethoxysilane; çapraz bağlayıcı (3-glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPTMS)), hexdecyltrimethoxysilane (HDTMS) ve tetraethoxyorthosilicate (TEOS) ile kondensasyon reaksiyonu ile türetilmiştir. Temas açısı ölçümleri kullanılarak hidrofobik özellikler belirlenmiştir. Yarı küresel nano-yapılı kompozit 50-75 nm çapında malzeme elde edildiğini göstermiştir. Nanokompozitlerin kimyasal yapıları FTIR analizleri incelendiğinde çapraz bağlayıcının eklenmesinin kompozit malzemenin kararlılığını arttırdığı gözlemlenmiştir (Daoud, 2006). Erbil ve arkadaşlarının süperhidrofobik yüzeylerin genellikle yüzey kimyasının ve yüzey pürüzlülüğünün artırılması ile elde edildiği belirtilmiştir. Yaptıkları çalışmada yüzey pürüzlülüğünün artırılması için uygun sıcaklık ve uygun bir çözücü seçimiyle polipropilen kullanılarak ucuz bir metotla süperhidrofobik kaplama elde etmişlerdir (Erbil, 2003).

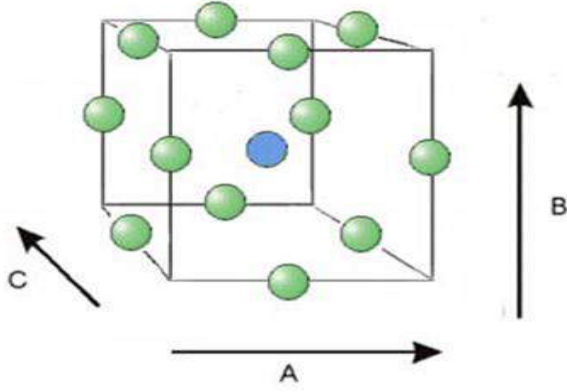
Jung ve arkadaşları tarafından süperhidrofobik yüzeylerde, katı-hava-sıvı kompozit ara yüzeyinden, homojen katı-sıvı ara yüzeye geçiş sırasında, su damlacıklarının boyutu ve yüzeyin geometrik parametreleri arasındaki ilişki incelenmiştir (Jung ve Bhushan, 2007). Nano ölçekte yaklaşık 20-100 mikrometre yüksekliğine sahip kimyasal madde sentezlenmesiyle yüzeylerde kaplama yapılarak aynı anda hidrofobik ve antibakteriyel etkiye sahip yüzeyler elde edilebilir. Hidrofobik ve antibakteriyel özelliğe sahip yüzeyler sağlık, gıda ve tekstil gibi sektörlerde kullanımı giderek artmaktadır. Bakırstearat, bakır molekülüyle dolay antibakteriyel etkiye sahiptir. Stearat molekülüyle hidrofobik özellik kazandırılmasıyla hibrit özellikte mikron boyutta bakır stearat sentezlenmesi için Box-Behnken tasarım kullanılarak değişkenler ile cevap yüzeyi elde edilmiştir.

1.1. Deneysel Tasarım

Deneysel tasarım, prosesi etkileyen değişkenlerin (faktörlerin) belirlenmesi, açıklanması ve proses modelinin geliştirilmesidir (Cochran ve Cox, 1957). Deneysel tasarımda, deneyi etkileyen bağımsız değişkenlere faktör denir. Her bir faktörü oluşturan eşit aralıkta alınan faktör değerlerinin sayısına “seviye”, deneylerden elde edilen sonuçların ölçümlerine ise “cevap” denir (Lundstedt ve ark., 1998; Kuehl, 2000). Deneysel tasarımın deney için uygun değişkenleri belirleme ve değişkenlerin optimum olduğu değerler belirlenir. Optimizasyon ise, literatür özetledikten sonra deneysel çalışmadaki değişkenlerinin en etkili sonucu verdiği noktadaki değerleri elde etmektir. Genellenmiş model varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilir (Açıklım, 2010).

1.1.1. Box-Behnken tasarım yöntemi

Tasarımların temellerinde oluşturulan modellerin geliştirilmesi ve optimum deney şartlarının belirlenmesi için kullanılan Box-Behnken yöntemi üç seviyeli olup faktör ve cevap yüzeyi, sayısı artırılabilir ikinci dereceden çok değişkenli bir polinom veren tasarımdır. Cevap yüzeyi sonuçları değişkenlerin maksimum ya da minimum değerleri aralığında belirlenmesini sağlar. Faktöriyel tasarımlarına ilave olarak çalışma alanının köşe noktalarını birleştiren orta noktalar ve merkezde yapılan tekrar deneyleri kullanılır. Box-Behnken yöntemin yararları, daha az deney sayısı ve merkezi bileşik tasarımına alternatif olarak gösterilmesidir (Khajeh, 2009a; Tripathi ve ark., 2009). Üç faktörlü Box-Behnken tasarımı için temsili gösterim Şekil 1’de gösterilmiştir (Açıklım, 2010). Box-Behnken Tasarımı üç seviyeli bir tasarımdır ve kodlama -1, 0 ve +1 olarak gösterilir. Tasarımdaki deney sayısı (N), k faktör sayısı ve n₀ merkezde tekrarlanan deney sayısı olmak üzere, $N = 2k(k-1) + n_0$ denklemiyle hesaplanır.



Şekil 1. Üç faktörlü Box-Behnken tasarımı için temsili gösterimi.

Bu çalışmada Box-Behnken Tasarım yöntemi ile model eldesi için (1) eşitliği ikinci dereeden polinom (Quadratic) model olarak kullanılmıştır (Korkut, 2011).

$$Y: \beta_0 + \beta_A A + \beta_B B + \beta_C C + \beta_{AB} A B + \beta_{AC} A C + \beta_{BC} B C + \beta_{AA} A^2 + \beta_{BB} B^2 + \beta_{CC} C^2 \quad (1)$$

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Kimyasallar

$Cu(C_2H_3O_2)_2 \cdot H_2O$	Bakır Asetat
C_2H_5OH	Etil Alkol
$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	Stearik Asit

2.2. Kullanılan Cihazlar

Manyetik Karıştırıcı Isıtma Cihazı
Hassas Terazî
Kamrera Düzenegi

2.3. Bakır Asetat ve Stearik Asit Çözeltilerinin Hazırlanması

0.75 gram bakır asetat hassas terazide tartıldı ve 100 ml etil alkol ile çözülmüştür. Bakır asetat ve stearik asit arasındaki stokiometrik oran dikkate alınarak (Eşitlik 1) 2.37 gram stearik asit hassas terazide tartıldı ve tartılan stearik asit 100 ml etil alkol ile çözülmüştür. Daha sonra stearik asit çözeltisi yavaşça bakır asetat çözeltisine ilave edildi ve her bir çözelti için Tablo 1’de görülen sıcaklık, zaman ve karıştırma hızları uygulanarak Manyetik karıştırıcı ısıtma cihazında $200 \pm 50 \mu m$ boyutta bakır stearat elde edilmiştir. Reaksiyon denklemi;

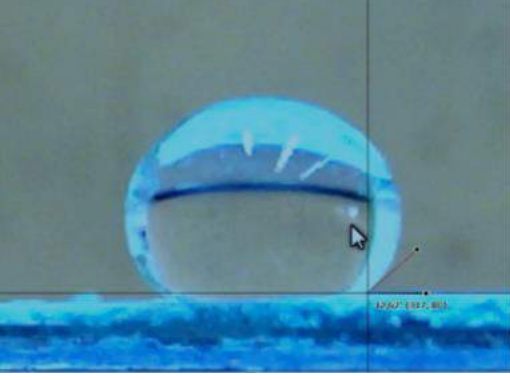


3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

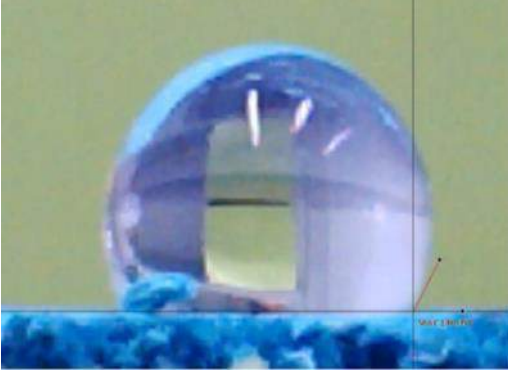
3.1. Bakır Stearat Çözeltilerinin Temas Açısı

Hazırlanan bakır stearat çözeltileri daldırma metoduyla cam yüzeylere kaplandı. Yüzeylerin hidrofobik etkilerini daha iyi gözlemleyebilmek amacıyla kaplamadan önce cam yüzeye su damlatılarak temas açısı ölçüldü. Cam yüzey ile suyun yaptığı temas açısı $35^\circ \pm 2$ bulundu. Hazırlanan 17 adet farklı bakır stearat çözeltisiyle kaplanan cam yüzeylerin her birinin suyla yaptığı temas açıları ölçüldü ve temas açıları ölçülerek tablo 2’de belirtilmiştir.

Deneysel verilere göre hazırlanan bakır stearatlarla kaplı cam yüzeylerde suyun temas yüzeyiyle yaptığı temas açıları dikkate alındığında, sırasıyla en yüksek temas açısı (hidrofobiklik) 5. orta hidrofobiklik 13. ve endüşük temas açısı 8. çözeltilerde tespit edilmiştir.



Şekil 5. Yüksek temas temas açılı 5.numune.



Şekil 6. En düşük temas temas açılı 8.numune.



Şekil 7. Orta temas temas açılı 13.numune.

3.2. Deneysel Tasarım Uygulaması

Deneysel tasarım uygulamasında Design Expert 7.0.0 programı kullanıldı. Cevap yüzeyi bakır stearatın suyla yaptığı temas açısı R' yi etkileyen parametreler A: sıcaklık (°C), B: reaksiyon zamanı (dak.), C: karıştırma hızı (rpm) olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Box-Behnken tasarımı parametre (faktör) kodları.

Faktör kodu	(A) Sıcaklık (°C)	(B) Reak. zamanı (dak.)	Karıştırma hızı (rpm) (C)
1	60	10	600
0	40	6	400
-1	20	2	200

Behnken tasarımı değişkenleri ve cevap yüzeyi Tablo 2'de belirtilmiştir.

Anova çözümleri sonucu 0.95 doğrulukta bakır stearat mikro tanecik eldesinde sıcaklık (A), reaksiyon zamanı(B) ve karıştırma hızı (C) değişkenleri ile temas açısı (R1) cevap yüzeyiyle bağlantılı faktör kodlarına bağlı olarak elde edilen matematiksel denklem; deneysel veriler kullanılarak, cevap yüzeyi fonksiyonunun katsayılarını veren regresyon analizi ve F-anlamlılık testine uyan terimler dikkate alındığında, Temas açısı için geliştirilen model denklemi eşitlik 2 de verilmiştir.

$$R1 (\text{Temas açısı}) = 132,74 + 2,75 A + 1,19 B + 3,56 C - 0,62 AB - 0,63 AC - 1 BC \quad (2)$$

Model 114.172 F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. Temas açısı model denklemini için (R1), kalanların toplamı 2.62, korelasyon katsayısı ise 0,9991 olarak bulunmuştur. Varyans analizinin sonuçları Tablo 3'te gösterilmektedir.

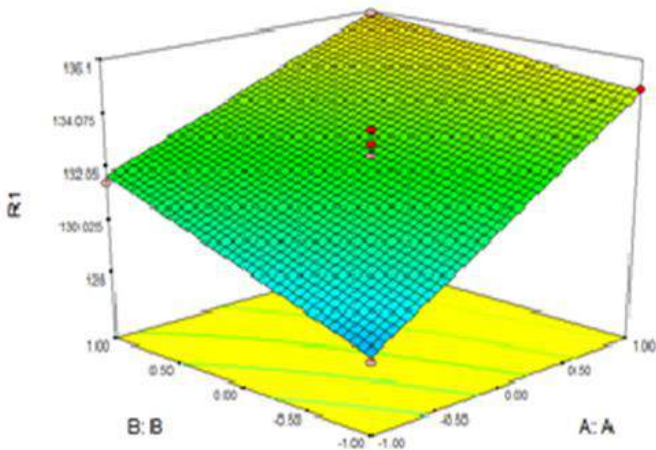
Tablo 2. Box-Behnken tasarımında Tasarımına uygun yapılan deneylerin sonuçları.

Deney Sayısı	Sıcaklık (°C) ± 1	Zaman (dak.)	Karış. hızı (rpm)	Temas açısı (°) ± 2
1	60	10	400	136
2	60	2	400	135
3	20	10	400	131.5
4	20	2	400	130
5	60	6	600	138.5
6	60	6	200	132
7	20	6	600	134.5
8	20	6	200	126
9	40	10	600	137
10	40	10	200	131
11	40	2	600	135.5
12	40	2	200	126.5
13	40	6	400	133
14	40	6	400	133.5
15	40	6	400	133
16	40	6	400	132.5
17	40	6	400	133.5

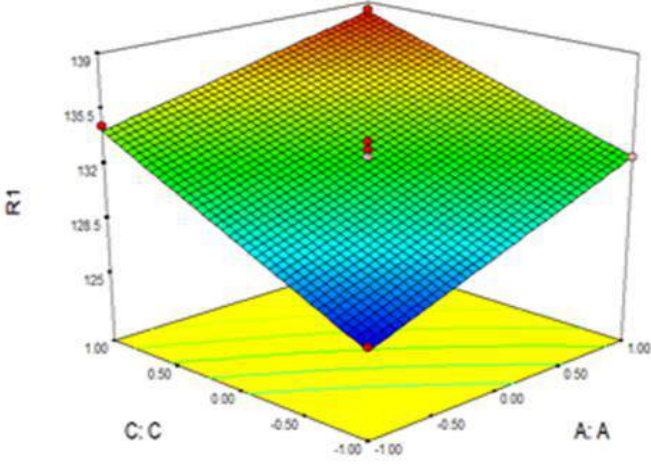
Tablo 3. Box-Behnken Tasarımıyla elde edilen temas açısı denklemini için ANOVA analizi sonuçları.

MADDE	KAYNAK	SERBESTLİK DEREJESİ (v)	KARELERİN TOPLAMI (SS)	ORTALAMA KARE (MS)	F ORANI
SK	MODEL	6	180.44	30.07	114.17
	KALAN	10	2.62	0.262	
	TOPLAM	16	183,08		

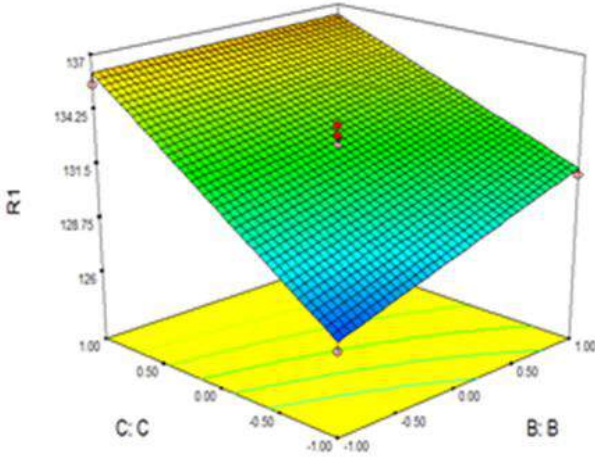
0.9563'teki "Tahmin R-kare", 0.9771'in "Düzeltilmiş R-kare" ile makul bir uyum içindedir. "Adeq Precision", sinyal / gürültü oranını ölçer. 4'ten büyük bir oran arzu edilir. 38.428 oranı yeterli bir sinyali belirtir. Bu model, tasarım alanında kullanılabilir. Varyans analizi sonucunda Design Expert yazılımıyla temas açısı modeli için hesaplanan P değeri (P value) 0,0001'den küçük bulunmuştur. P değerleri 0,01 den küçük olduğundan elde edilen model denklemini %99 önem seviyesi şartını sağlamaktadır. Ayrıca Design Expert 7.0.0 programı kullanılarak sıcaklık, zaman ve karıştırma hızı parametrelerinin üç boyutlu grafikleri elde edildi (Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10).



Şekil 8. Reaksiyon zamanı (dak.) - Sıcaklık (°C) değişiminin temas açısına etkisi.



Şekil 9. Karıştırma hızı (rpm) - Sıcaklık (°C) değişiminin temas açısına etkisi.



Şekil 10. Karıştırma hızı (rpm)-Zaman (dak.) değişiminin temas açısına etkisi.

3.2.2. Bakır stearat sentezinde Box-Behnken tasarım optimizasyonu

Reaksiyon sıcaklığı , reaksiyon zamanı ve karıştırma hızı temas açısını en yüksek yapacak ve mühendislik olarak reaksiyon süresi ve zamanı az olması yanısıra karıştırma hızında az olması hedeflenerek temas açısının (hidrofobiklik) max olması için yapılan optimizasyon seçeneklerinde arzu edilebilirlik 1 olan seçeneklerden ; A reaksiyon sıcaklığı (°C) 0.97 (sıcaklık yaklaşık 56- 58 °C arası) , B reaksiyon zamanı (dak.) - 0.94 (5.8-5.9 dak. arası) ve C karıştırma hızı (rpm) 0.99 (karıştırma hızı 595-599 rpm) kodlu değerleri sağlayan temas açısı 138.691 seçilmiştir.

4. Sonuç

Yüzey üzerinde oluşturulan mikron büyüklükteki hidrofobik bakır stearatın yüzey pürüzlülüğü ve pürüzlülük içindeki hava arttıkça su damlasının yüzeyle yaptığı temas açısı artmaktadır. Cam yüzeyi üzerinde suyun temas açısının açısı $35^{\circ} \pm 2$ derece olduğu tespit edilmiştir. Cam yüzey üzerine bakır stearat çözeltisiyle yapılan kaplamayla su damlatıldığında temas açıları ölçülmüştür. 20, 40, 60 °C sıcaklık, 2, 6, 10 dak. reaksiyon zamanı ve 200, 400, 600 rpm karıştırma hızı değişkenlerine göre yapılan deneylerde bakır stearatın küçülen tanecik boyutu ile oluşan dikensi pürüzlülüğün artmasıyla hidrofobiklik değeri olan temas açıları 126-138.5° arasında değiştiği tespit edilmiştir. Design Expert 7.0.0 programı kullanılarak üç faktörlü Box-Behnken tasarım yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen cevap yüzeyi ile bağımsız değişkenler arasında elde edilen grafikler ve cevap yüzeyi denklemi incelendiğinde; en etkili bağımsız değişkenin karıştırma hızı olduğu, ikinci önemli sıcaklık parametrenin olduğu, reaksiyon zamanı parametresinin ise temas açısındaki etkisinin çok az olduğu belirlenmiştir. Mikro ölçekte bakır stearat sentezinde sıcaklık 20-60 °C arasında sıcaklık arttıkça temas açısı artmaktadır. 600 rpm karıştırma hızından yüksek hızlarda denemeler yapılması uygundur. Reaksiyon zamanı 2 - 10 dak. aralığı temas açısına etkisi azdır. Reaksiyon zamanı 0 - 2 dakika aralığında deney değişkeni olarak incelenmesi önerilmektedir. $200 \pm 50 \mu\text{m}$ boyutta bakır stearat sentezinde, cevap yüzeyi olarak parçacık boyut analizi değişimi incelenmesi mümkündür.

Box-Behnken tasarım optimizasyonu yapılarak; A reaksiyon sıcaklığı (°C) 0.97 (sıcaklık yaklaşık 38- 39 °C arası) , B reaksiyon zamanı (dak.) - 0.94 (2.2.-2.4 dak. arası) ve C karıştırma hızı (rpm) 0.99 (karıştırma hızı 590-599 rpm) kodlu değerleri sağlayan temas açısı 138.691 seçilmiştir. Bakır stearat parçacık boyutunun küçültülmesi dolayısıyla hidrofobikliğin artırılması amacıyla

bağımsız değişken olarak reaksiyon zamanı yerine pH veya Bakır asetat (gr.) ve stearik asit (gr.) miktarı ile çözücü etil alkol miktarının (ml) oranı değiştirilerek seyreltik çalılışılmasıyla partikül boyutunun azaltılarak deneysel tasarım çalışması yapılmasını önerilmiştir.

Kaynakça

- Barthlott, W. & Neinhuis, C. (1997). Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological Surfaces. *Planta* , 202 (2): 1-8.
- Minglin, M. & Randal, M.H. (2006). Superhydrophobic surfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 11: 193-202.
- Bharat, B. (2016). Biometrics : bioinspired hierarchical – structured surfaces for green science. *Second Edition Springer*, 384-390.
- Nakajima, A., Saiki, C., Hashimoto, K., & Watanabe, T. (2001). Processing of roughened silica film by coagulated colloidal silica for super-hydrophobic coating. *Journal of Materials Science Letters*, 20 (21) : 1975-1977.
- Ma, M., & Hill, R. M. (2006). Superhydrophobic surfaces. *Colloid Interface Science*, 11 (4): 193-202.
- Jiri, G. D. (2001). Blends and composites based on fluoropolymers. *Macromolecular Symposia*, 170: 149–156.
- Gu, G., Dang, H., Zhang Z., & Wu, Z. (2006). Fabrication and characterization of transparent superhydrophobic thin films based on silica nanoparticles. *Appl. Phys. A*, 83 (1): 131-132.
- Daoud, W. A., Xin, J. H., & Tao, X. (2006). Synthesis and characterization of hydrophobic silica nanocomposites. *Applied Surface Science*, 252 (15): 5368-5371.
- Erbil, H. Y., Demirel, A. L., Avci, Y., & Mert, O. (2003). Transformation of a simple plastic into a superhydrophobic surface. *Science*, 299 (5611): 1377-1380.
- Jung, Y. C., & Bhushan B. (2007). Wetting transition of water droplets on superhydrophobic patterned Surfaces. *Scripta Materialia*, 57: 1057-1060.
- Cochran W. G, & Cox, G. M. (1992) . Experimental Design. 2nd. Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Lundstedt, T., Seifert, E., Abramo, L., Thelin, B., Nyström, Å., Pettersen, J., ve ark. (1998). Experimental Design and Optimization. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 42:3- 40.
- Kuehl, R. O. (2000). Design of Experiments: Statistical Principles of Research Design and Analysis. 2nd. Edition, Duxbury, New York.
- Korkut, A. (2010). Çeşitli Biyokütle Atık Maddelerin Piroliz ve Elde Edilen Ürünlerin Analizi. *FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi*. 55-56.
- Korkut, A., & BOLAT, E. (2011). Siirt Fıstığı Kabuklarının Piroliz Ürün Verimlerinin Çeşitli Deneysel Tasarım Yöntemleri ile Modellenmesi. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 29: 52-64.
- Khajeh, M. (2009a). Application of Box–Behnken Design in the Optimization of a Magnetic Nanoparticle Procedure for Zinc Determination in Analytical Samples by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. *Journal of Hazardous Materials*, 172:385-389.
- Tripathi, P., Srivastava, V. C., & Kumari A. (2009). Optimization of an Azo Dye Batch Adsorption Parameters Using Box–Behnken Design. *Desalination*, 249:1273-1279.



Space State Matrices Based Novel PI and Sliding Mode Controllers for Step-Up Converters in Renewable Energy Applications

Davood Ghaderi^{1*}

¹ Bursa Teknk Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimler Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2234-3453)

(İlk Geliş Tarihi 17 Nisan 2019 ve Kabul Tarihi 8 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.590831)

ATIF/REFERENCE: Ghaderi, D. (2019). Space State Based Novel PI and Sliding Mode Controllers for Step-Up Converters in Renewable Energy Applications. European Journal of Science and Technology, (16), 841-854.

Abstract

Photovoltaic panels generate a limited amount of power, so the transmission of this power to the grid side should be done by an efficient DC-DC converter structure and a powerful controller circuit. The controller should be designed based on accurate mathematical analysis to act with high quality and use the minimum number of components as much as possible in order to obtain a cheap and simple topology. In this study, the performance analysis of a novel proportional-integral (PI) controller and Sliding Mode Controller (SMC) methods for a DC-DC power boost converter is examined in Continuous Conduction Mode (CCM). Having a comprehensive mathematical model for the converter allows designing an accurate controller. So, in the first step, an exhaustive model for this converter based on steady space matrixes has been presented. In the next step, these two different controllers investigated based on the proposed model of the boost converter and finally, comparisons for the performance analysis of presented controllers have been done. One of the novelty aspects of the PI controller is that it will give sample currents of the inductor to make a relation between the output voltage and the controller strategy in order to generate suitable pulses to drive the power switch and SMC does not need to any sampling for this purpose and acts through tracking the output voltage.

Keywords: PI controller, Sliding Mode Controller, Renewable energu sources, Step-Up converter, Space state analysis.

Yenilenebilir Enerji Uygulamalarında Yükseltici DA DA Dönüştürücüler için Uzay Durum Matrislerine Dayalı yeni PI ve Kayan Kipli Modu Kontrolörler

Öz

Bir Fotovoltaik (PV) panelin üretilen güç miktarının belli bir limitleri aşabilmemesi ve sınırlı olmasını bilmekle birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarında verimin son derece önemli olduğu nedeniyle kontrol devresinin performansı oldukça önemlidir. Bu enerjinin aktarımı kaliteli kontrol algoritmalarına dayanarak, kayıpları en az değerlere düşürebilmek için farklı çalışmalarda dikkate alınmıştır. Bu çalışmada, DA-DA Boost dönüştürücüsü için uzay durumu matrislerini geliştirerek, yeni Orantılı İntegral (PI) ve Kayan Kipli Modu (SMC) tabanlı Kontrolör yöntemlerinin performans analizi dönüştürücünün Sürekli İletim Modunda (CCM) incelenmiştir. Dönüştürücü için kapsamlı bir matematiksel model elde etmek, doğru bir kontrol sisteminin tasarlanmasına yol açmabilmektedir. Böylece, ilk adımda, sabit uzay matrislerine dayanan matematik modelleme yöntemleriyle, dönüştürücünün çıkış gerilimi ve giriş akımı için kapsamlı bir model sunulmuştur. Bir sonraki adımda, bu iki farklı kontrolör, sunulan modele dayanarak, araştırılmış ve son olarak, sunulan kontrolörlerin performans analizi için karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu iki yeni modele göre, SMC metodu daha iyi sonuçlar sunmaktadır. Çalışmanın yenilik yönlerinden biri, PI kontrolörü, anahtarı tetiklemek için sürekli bobinin akımından örnekler alamakta olması, SMC yönteminde ise bu örnekleme sadece çıkış geriliminden alınmasıdır.

Anahtar Kelimeler: PI controller, Sliding Mode Controller, Renewable energu sources, Step-Up converter, Space state analysis.

* Sorumlu Yazar: Bursa Teknk Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimler Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2234-3453), davood.ghaderi@btu.edu.tr

1. Giriş

With developing technology, the need for different forms of electrical energy is constantly increasing. Depending on the progress in the field of power electronics, many converters have been developed for this purpose. DC-DC converters are frequently used as power electronics converters that convert the input direct voltage to different output voltage in many industrial applications where direct voltage adjustment is needed [1-3].

DC-DC step-up are converters that convert the input direct voltage to a higher level output direct voltage [4]. As with other types of DC-DC converters, the step-down and buck-boost DC-DC converters [5,6], the correct voltage conversion in the converter depends on the PWM switching ratio. Ideally, the relationship between converter input and output voltage can be achieved mathematically, depending on the switching ratio independent of system parameters. In practice, however, non-ideal converter elements (passive elements and switching elements) and the fact that the converter operates in intermittent mode make it impossible to determine a certain switching ratio for the respective operating point of the converter [7].

In order to increase the efficiency of the power converter, suitable converters are often used in parallel or in series based on levels of the power and voltage in a transmission block. The most significant disadvantage of using the converter singly at high powers is that it is subjected to high voltage and current stress. Therefore, in high power applications, the parallel connection of two or more amplifying converters is recommended to reduce the current wavelength. This technique involves phase shifting problem of the control signal of several cells in parallel operation at the same switching frequency [4].

Interest in the problem of harmonic current contamination in Renewable Energy (RE) based systems has increased significantly in recent years especially for the Photovoltaic panels. Due to the negative effects of sinusoidal current waveform distortion, studies are carried out to reduce the harmonics of the input current. Many interface circuit studies are performed to correct the power factor (PF) of the systems. Usually, the power factor correction for DC-DC converters which actively adjust the shape of the input current to the desired form based on load values is used to correct the power factor of the power transmission side. Power factor correction transducers are an important field of study and research in power electronics to regulate the power supply output and provide an acceptable ratio of active and apparent power [8-10].

The purpose of the control systems is to ensure that the control variables for the processes follow the desired change form under changing operating conditions.

Therefore, in order to obtain the switching ratio of the converter, it is necessary to use a feedback control structure based on the reference and actual output voltages [10].

There are many studies in the literature using many different types of controllers for controlling the amplifier DC-DC converters [11-14]. The designed controller continuously checks the error between the converter reference and the actual output voltage and corrects the converter operating error to provide the desired system response parameters. The feedback control structure using classical PI and PID controller types is often applied in amplifier converter control [15-17]. In many studies, which are thought to be insufficient in terms of converter response of PI and PID controllers, the floating mode controller based control technique, which is one of the modern control techniques for the converter control, has been successfully applied [18-20]. The design of the controllers mentioned in the present literature is designed for the mathematical model obtained for certain operating points of the converter. Therefore, it is obvious that the change in any of the system operating parameters will change the mathematical model of the converter. Therefore, in this case, it is not possible to obtain the system response performance with the designed controller parameters. In terms of amplifier converter performance, it is very important that the reference output voltage value provides the desired system response performance, as well as the converter, produces the reference output voltage value accurately on the output side. It is therefore evident that the converter control structures in which said controller types are used alone cannot provide the desired converter performance, except for the operating points where the controller parameters are obtained for a given operating point.

In this study, different control methods are analyzed by using a classical single - switch DC-DC step-up type converter structure. Two different controller have been investigated in this study. An improved PI controller and a new Sliding Mode Controller based on space state matrices are the methods applied to the converter and all mathematical and simulation results are presented. For as good and qualified controller design, first of all, knowing the mathematical behavior of the converter is the main part. So, a successful control process will be possible through a wide and complete model based on converters activity in both ON and OFF states of the power switch. For that, all facts related to modeling of the step-up converter has been presented firstly and controllers investigated through the model. A comparison between the quality of the output voltage and current signals, especially when the load changes, have been done and the performance of the controllers have been reported.

2. Mathematic analysis of the step-up converter

A general configuration of RESs connected networks has been illustrated in figure 1. This simple figure shows that any type of sources after stabilization by a capacitor bank can be converted to a DC voltage in the desired level. DC grids will be supplied directly through this DC voltage and ac grids need to supply by an inverter block that can convert DC voltages to the ac ones. It is clear that the level of the voltages in the grid sides can determine that a buck or boost converter should be applied for the DC-DC converter. Since the PV panels generate a limited amount of voltage and power, normally a boost converter is applied to enhance the DC voltage level to can be used in one phase 220 or three phases 380Vac applications.

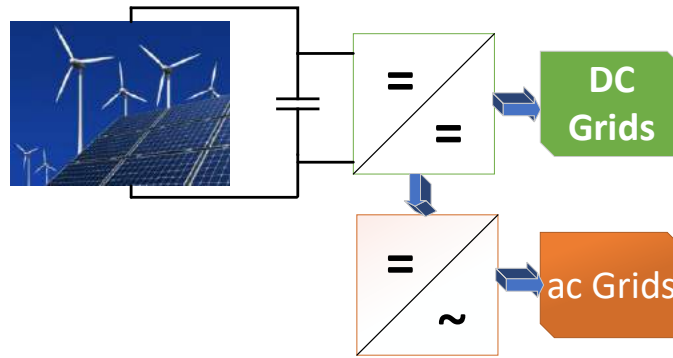


Figure 1. Power stages in a RES connected network

This section presents the steady space analysis of the boost converter when the power switch is in ON and OFF states. A conventional step-up converter has been presented in figure 2a. subfigures 2.b and 2.c presents the state of the converter when the power switch is in ON and OFF states respectively.

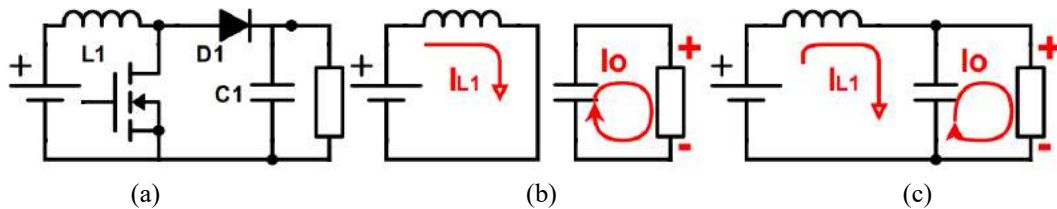


Figure 1. (a) Boost converter, the state of converter when the power switch is in (b) ON and (c) OFF modes.

Model1: When the power switch is in ON mode, input voltage charges the inductor through the switch, in this state, the voltage on capacitor will discharge on load. So the current for the inductor will increase and the voltage on capacitors will decrease in this time interval. So we can write:

$$L \frac{di_L}{dt} = V_{in} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_{in}}{L} \tag{1}$$

$$C \frac{dv_o}{dt} = -\frac{v_o}{R} \Rightarrow \frac{dv_o}{dt} = -\frac{v_o}{CR} \tag{2}$$

So the steady space matrix for the ON sate can be written by (3):

$$\left\{ \begin{array}{l} L \frac{di_L}{dt} = V_{in} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_{in}}{L} \\ C \frac{dv_o}{dt} = -\frac{v_o}{R} \Rightarrow \frac{dv_o}{dt} = -\frac{v_o}{RC} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [V_{in}] \tag{3}$$

Mode2: For the OFF state of power switch, as figure 2c presents, inductor will demagnetize on capacitor through the diode, so the current of inductors will decrease while the voltage of the capacitor will increase. So in this time interval, the structure will behave completely opposite with the first time interval. Inductor current, capacitor voltage and steady space matrix for this state can be obtained respectively through (4), (5) and (6):

$$L \frac{di_L}{dt} = (V_{in} - v_C)(1-d) \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_{in} - v_C}{L} (1-d) \tag{4}$$

$$C \frac{dv_o}{dt} = (i_L - \frac{v_o}{R})(1-d) \Rightarrow \frac{dv_o}{dt} = \frac{i_L - \frac{v_o}{R}}{C} (1-d) \tag{5}$$

$$\left\{ \begin{aligned} L \frac{di_L}{dt} &= (V_{in} - v_c)(1-d) \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_{in} - v_c}{L} (1-d) \\ C \frac{dv_o}{dt} &= (i_L - \frac{v_o}{R})(1-d) \Rightarrow \frac{dv_o}{dt} = \frac{i_L - \frac{v_o}{R}}{C} (1-d) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1-d}{L} \\ \frac{1-d}{C} & -\frac{1-d}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_{in}] \quad (6)$$

In above equations, d is the duty cycle of the signal which drives the power switch. If the switch is in ON mode for the dT, so it will be in OFF mode for the (1-d) T. In these terms, T is the period of the PWM signal. Figure 3 illustrates the components conductivity stations in per time interval.

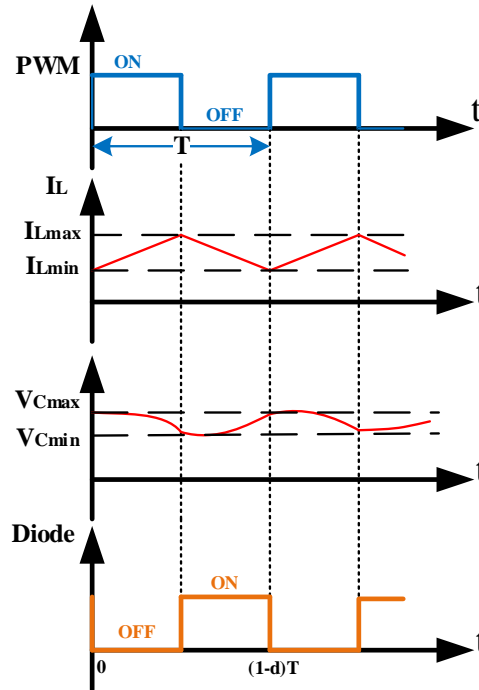


Figure 3. The state of components in a period of PWM.

By considering the equations (3) and (6), the general state matrix of the converter will be equal with:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{di_L}{dt} &= -\frac{(1-d)}{L} v_c + \frac{1}{L} V_{in} \\ \frac{dv_o}{dt} &= \frac{(1-d)}{C} i_L - \frac{1}{RC} v_o \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1-d}{L} \\ \frac{1-d}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_{in}] \quad (11)$$

Equation (11) illustrates that the relation between input sources, inductors current and capacitor voltages derivatives and output voltage can be written as:

$$Y = CX + Du \quad (12)$$

In this equation C is the coefficient matrix, X is the inductor currents or capacitor voltages derivate matrix, D is the coefficient matrix of u and u is the input sources matrix. Y as the output signal and can be written as:

$$Y = v_o = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_o \end{bmatrix} \quad (13)$$

In order to obtain the small-signal model for the boost converter, the equation (11) can be re-written through (14). In this equation, A, B, C and D are the coefficients matrixes and can be introduced for ON and OFF states of power switch:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{X}} &= A \hat{X} + B \hat{u} + [(A_1 - A_2)X + (B_1 - B_2)u] \hat{d}; \\ \begin{cases} A = A_1 d + A_2(1-d) \\ B = B_1 d + B_2(1-d) \\ C = C_1 d + C_2(1-d) \\ D = D_1 d + D_2(1-d) \end{cases} \end{aligned} \tag{14}$$

So, we can write:

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{i}}_{L1} \\ \dot{\hat{V}}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_i \\ \hat{v}_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}_{in} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_c}{L} \\ \frac{I_L}{C} \end{bmatrix} \hat{d} \tag{15}$$

This equation can be expanded by the Laplace equation for the ON and OFF states as below:

$$\left(s + \frac{TR_L}{L} \right) I_{L,p}(s) = i_{L0,p} + \frac{T}{LS} V_i \quad \text{if } 0 \leq q < D, \tag{16}$$

$$\left(s + \frac{T}{RC} \right) V_{o,p}(s) = v_{o0,p} \quad \text{if } 0 \leq q < D, \tag{17}$$

$$\left(s + \frac{TR_L}{L} \right) I_{L,p}(s) = +i_{L1,p} + \frac{T}{LS} V_i - \frac{T}{L} V_{o,p}(s), \quad D \leq q < 1, \tag{18}$$

$$\left(s + \frac{T}{RC} \right) V_{o,p}(s) = v_{o1,p} + \frac{T}{C} I_{L,p} \quad \text{if } D \leq q < 1, \tag{19}$$

In these equations, $i_{L0,p}$, $i_{L1,p}$, $v_{o0,p}$ and $v_{o1,p}$ are the primary values of the inductor current and capacitor voltage signals for the ON and OFF states respectively, T is the period of PWM signal and R_L is the internal resistance of the inductor that can be ignored because it is very small in comparison with the output load normally.

So this primary values can be found in Laplace mode as below:

$$\begin{bmatrix} I_{L,p}(s) \\ V_{o,p}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{s + (\alpha - \gamma)T} \left(i_{L0,p} + \frac{T V_i}{L s} \right) \\ \frac{v_{o0,p}}{s + (\alpha + \gamma)T} \end{bmatrix} \quad \text{if } 0 \leq q < D, \tag{20}$$

$$\begin{bmatrix} I_{L,p}(s) \\ V_{o,p}(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{s^2 + 2\alpha Ts + T^2(\alpha^2 + \omega^2)} \times \begin{bmatrix} (\alpha + \gamma)T + s & -\frac{T}{L} \\ \frac{T}{C} & s + T(\alpha - \gamma) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L1,p} + \frac{T V_i}{L s} \\ v_{o1,p} \end{bmatrix} \quad \text{if } D \leq q < 1, \tag{21}$$

α , ω and γ can be presented below equation:

$$\alpha = \frac{\left(\frac{R_L}{L} + \frac{1}{RC}\right)}{2}, \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}\left(\frac{R_L}{R} + 1\right) - \alpha^2}, \quad \gamma = \frac{\left(\frac{1}{RC} - \frac{R_L}{L}\right)}{2}, \quad (22)$$

By applying the conversely Laplace function for the (20) and (21), the input current and capacitor voltage will be obtained as follows in the q domain:

$$i_{L,p}(q) = \begin{cases} i_{L0,p} e^{-(\alpha-\gamma)qT} + \frac{V_i}{R_L} \left[1 - e^{-(\alpha-\gamma)mT}\right] & \text{if } 0 \leq q < D, \\ \frac{V_i}{R_L + R} \left[\frac{1 - e^{-\alpha(qT-t_1)} \cos \omega(qT-t_1)}{\omega^2 - \alpha\gamma} + \frac{\omega^2 - \alpha\gamma}{(\gamma + \alpha)\omega} e^{-\alpha(qT-t_1)} \sin \omega(qT-t_1) \right] + \\ i_{L1,p} e^{-\alpha(qT-t_1)} \left[\cos \omega(qT-t_1) + \frac{\gamma}{\omega} \sin \omega(qT-t_1) \right] - \\ \frac{v_{o1,p} e^{-\alpha(qT-t_1)}}{\omega L} \sin \omega(qT-t_1) & \text{if } D \leq q < 1, \end{cases} \quad (23)$$

$$v_{o,p}(q) = \begin{cases} v_{o0,p} e^{-(\alpha+\gamma)qT} & \text{if } 0 \leq q < D, \\ \frac{RV_i}{R_L + R} \left[\frac{1 - e^{-\alpha(qT-t_1)} \cos \omega(qT-t_1)}{\omega} - \frac{\alpha}{\omega} e^{\alpha(t_1-qT)} \sin \omega(qT-t_1) \right] + \\ \frac{i_{L1,p}}{\omega C} e^{-\alpha(qT-t_1)} \sin \omega(qT-t_1) + v_{o1,p} e^{\alpha(t_1-qT)} \left[\cos \omega(qT-t_1) + \frac{\gamma}{\omega} \sin \omega(t_1-qT) \right] & \text{if } D \leq q < 1, \end{cases} \quad (24)$$

3. Controller design

Open-loop boost converters cannot guarantee a stable DC voltage on the load side. Especially when the input source is a PV panel, fuel cell or wind turbine, based on geographical and weather conditions, different amount of power can be generated by these sources. Also, when the second, third or higher level of loads enter to the output of the converter, different amount of voltages can be obtained or unwanted amount of over or undershoots can be observed. So, in a DC-DC boost converter, always a closed-loop controller is preferred. For this purpose, in this study we will proposed three different controllers with all mathematical details. For the first step, the PI controller will introduce, and in continuous the Sliding Mode Controller (SMC) and Fuzzy Logic Controller (FLC) will present. The differences between the quality of the generated signals will present in the results section.

3.1. PI controller

In order to present a PI controller, the most important fact is finding an equation that can present a connection between output voltage with first order derivation of the inductor current or capacitor voltage. Between all equations from (1) till (11), (5) is the optimal one.

$$C \frac{dv_o}{dt} + \frac{1}{R} v_o = (1-d)i_L = u \quad (24)$$

$$\text{in time domain : } u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

K_p and K_i are the proportional and integral coefficients. In this equation u is the control signal at the controller output point and can be introduced in term of duty cycle as below:

$$d = 1 - \frac{u}{i_L} \tag{25}$$

Since the PI controller can be present by (26):

$$G(s) = k_p + \frac{k_i}{s} = \frac{k_p s + k_i}{s} \tag{26}$$

The controller loop and closed loop PI controller form will be same with what is illustrated in figure 4a and 4b respectively.

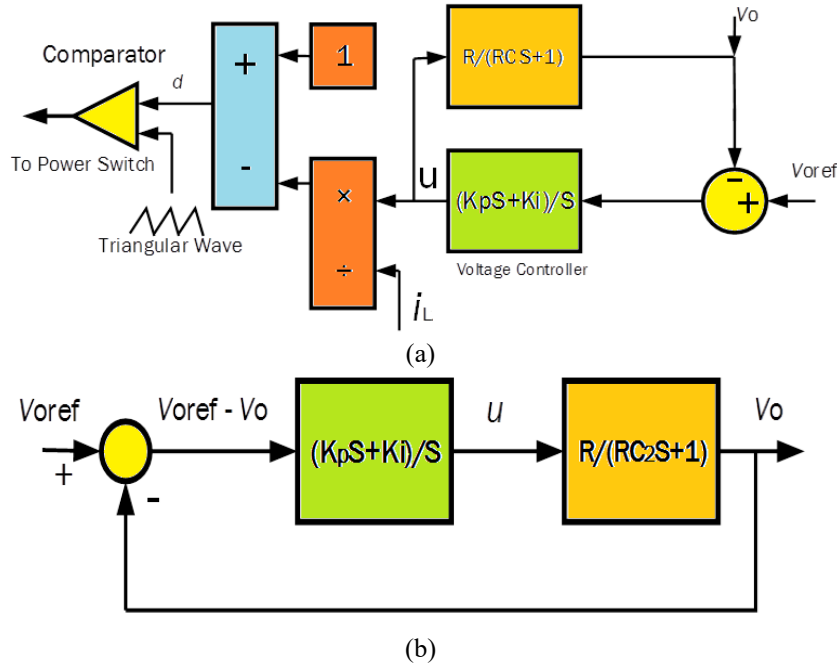


Figure 4. (a) controller loop and (b) closed loop PI controller model for the step-up converter

By considering the figure 3b, the transfer function between input and output voltages can be presented by (27):

$$G_F = \frac{V_o(s)}{V_{oref}(s)} = \frac{G_C(s)G_P(s)}{1 + G_C(s)G_P(s)} = \frac{G_o}{1 + G_o} = \frac{\frac{1}{C}(k_p + k_i)}{s^2 + (\frac{1 + Rk_p}{RC}) + \frac{k_i}{C}} \Rightarrow G_F = \frac{\frac{1}{C}(k_p s + k_i)}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2} \tag{27}$$

$$\text{So, } \begin{cases} \frac{1 + Rk_p}{RC_2} = 2\xi\omega_0 \\ \frac{k_i}{C_2} = \omega_0^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k_p = 2\xi\omega_0 C_2 - \frac{1}{R} \\ k_i = \omega_0^2 C_2 \end{cases}$$

The effect of the integral control becomes more pronounced when used in conjunction with the proportional control effect. The integral effect is activated at a certain time after the controller is activated. Again, since it is known that the proportional control effect weakens as the error decreases, it can be easily predicted that these two effects can be used as a compliment. The proportional effect will quickly lose the effect after bringing the system response closer to the input value, after which the integral effect will activate and eliminate the permanent error and move the system to the full reference value if it is slow.

3.2. Sliding mode controller (SMC)

Sliding mode control is a robust control method that can achieve the desired dynamic behavior despite external disturbances and uncertainties when appropriate conditions are met. The SMC method has become popular in recent years due to its simplicity of application and robustness, and many SMC techniques have been developed and have taken their place in engineering applications.

However, in the open literature, it is seen that there is no comprehensive study in which these control techniques are applied simultaneously on various real systems.

To implement variable structure control, the steady state equation for inductor current or capacitor voltage derivations can be written in a general form as below:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bs + G \tag{28}$$

S presents the switch state; x is the state vector and representing the state variables; and A, B and G are the state matrices. Since the controller diagram is organized based on the mean state space model, so the model should be created first. Regarding the modeling of the DC-DC step-up converter, the Continuous Conduction Mode (CCM) is considered. State space equations in CCM when the power switch is in on state, S = 1, can be illustrated by:

$$L \frac{di}{dt} = u_i \quad \text{and} \quad C \frac{dv}{dt} = -\frac{u_o}{R} \tag{29}$$

For the time intervals that the switch is in off state, S=0:

$$L \frac{di}{dt} = u_i - u_o \quad \text{and} \quad C \frac{dv}{dt} = i_L - \frac{u_o}{R} \tag{30}$$

(31) presents the combination and general state matrix for the converter:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{du_o}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ u_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{u_o}{L} \\ -i_L \end{bmatrix} s + \begin{bmatrix} u_i \\ L \end{bmatrix} \tag{31}$$

According to the shift mode control theory, the proportional shift function of the proposed SMC varies according to the time in the state space,

$$S_s = K_1(t)x(u_{oe} - u_o) \tag{32}$$

where $k_1(t) > 0$ is the sliding coefficient which can be designed as a constant or time variable parameter according to different states of the structure, while it should be appropriately selected to fulfill the condition of existence, the reach/strike and the stability conditions. Since $K_1(t)$ is the fixed part during different stable states in this control approach, its derivative is zero in any fixed state. Therefore, the differential shift is expressed by the function (33):

$$\dot{S} = -K_1(t)\dot{u}_o \tag{33}$$

By a similar way as we had for PI controller we can write for SMC (34):

$$u_{eq} = 1 - \frac{u_o}{Ri_L} \tag{34}$$

It is then defined by the relevant trend law by (35):

$$S_{law} = -K_2(t)(u_{oe} - u_o) \tag{35}$$

The trend rate can be adjusted by setting the coefficient $k_2(t) > 0$. Based on control law for converters in order to general shift mode control purposes, which should be able to control the output of the system by monitoring the reference values of the output signals:

$$u = \begin{cases} u^+, & \text{if } S_s > 0 \\ u^-, & \text{if } S_s < 0 \end{cases} \tag{36}$$

By replacing the mean state space model of the system to the control law equation, the dynamic duty cycles for PWM generation can be obtained directly:

$$0 < d(t) = 1 - \frac{k_1 u_i + \sqrt{k_1^2 u_i^2 + k_1 u_o (u_{oe} - u_o)}}{2k_1 u_o} < 1 \tag{37}$$

$$k = \frac{4L}{R} (CRk_2^2 - k_1 k_2)$$

Obviously in the ideal condition, when the error between the reference output and the actual output voltage is zero:

$$d(t) = 1 - \frac{u_i}{u_{oe}} \tag{38}$$

Figure 5 presents the Simulink model of the SMC controller for the conventional boost converter. Independent of the general control schemes for DC-DC boost converters, (38) is the general steady-state relationship between the input and output voltages. It can be seen that the controller is independent of the inductor current, and the load information is only required when designing the shift coefficients.

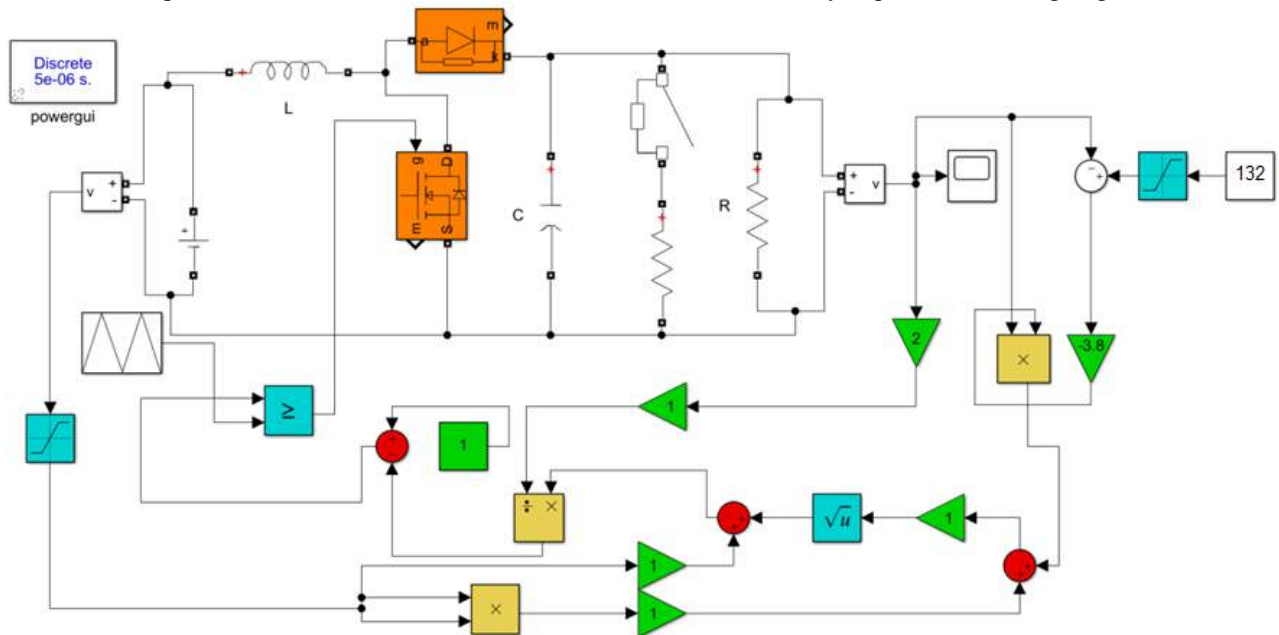


Figure 5. Proposed SMC model for the step-up converter.

According to Lyapunov's theory of stability, the candidate scalar quadratic Lyapunov function is same with (39):

$$V(x) = \frac{1}{2} e^T Q_e = \frac{1}{2} (x - x_e)^T Q (x - x_e) \tag{39}$$

Where $x = [i_L \ u_o]^T$ is the state variables and Q is a diagonal matrix:

$$V(i_L, u_o) = \frac{1}{2} [a_1 (i_L - i_e)^2 + a_2 (u_o - u_e)^2] = [a_1 \ 0; \ 0 \ a_2] \text{ for } (a_1, a_2) > 0 \tag{40}$$

and $V(i_e, u_e) = 0$

By the derivative state of the V:

$$\dot{V} = \frac{1}{2} \dot{e}^T Q_e + \frac{1}{2} e^T Q_e \dot{e} = -a_2 \frac{k_2}{k_1} (u_o - u_e)^2 + \frac{a_2}{L} [u_i - (1-s)u_o] \left[i_L - \frac{u_e^2}{R u_i} \right] \tag{41}$$

When $u_o > u_e$, based on the energy saving theory, the losses are ignored and $[u_i - (1-s)u_o] < 0$ in the next stage. This results in $i_L > i_e$, so $[i_L - (u_e^2/Ru_i)] > 0$ and by $u_o < u_e$, $[u_i - (1-s)u_o] < 0$, $[i_L - (u_e^2/Ru_i)] < 0$.

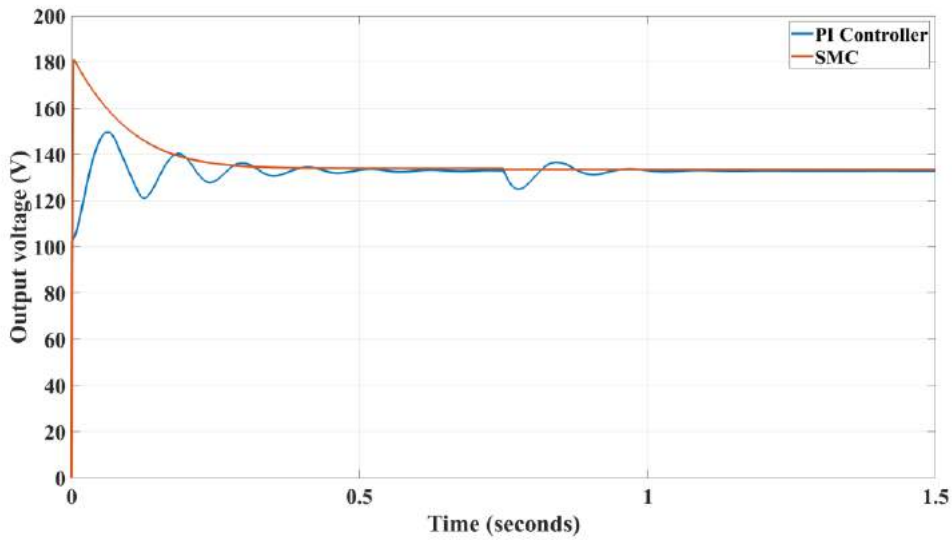
In summary, for any $x \neq x_e$ (41) will be negative and when $x = x_e$ is zero, therefore the response is negative certainly. As a result, the candidate function is a Lyapunov function and the system complies with Lyapunov stability conditions. The system is therefore asymptotically stable at equilibrium points.

When the system is balanced at equilibrium, the output and input powers are equalized by examining the energy conservation law and neglecting the lost energy:

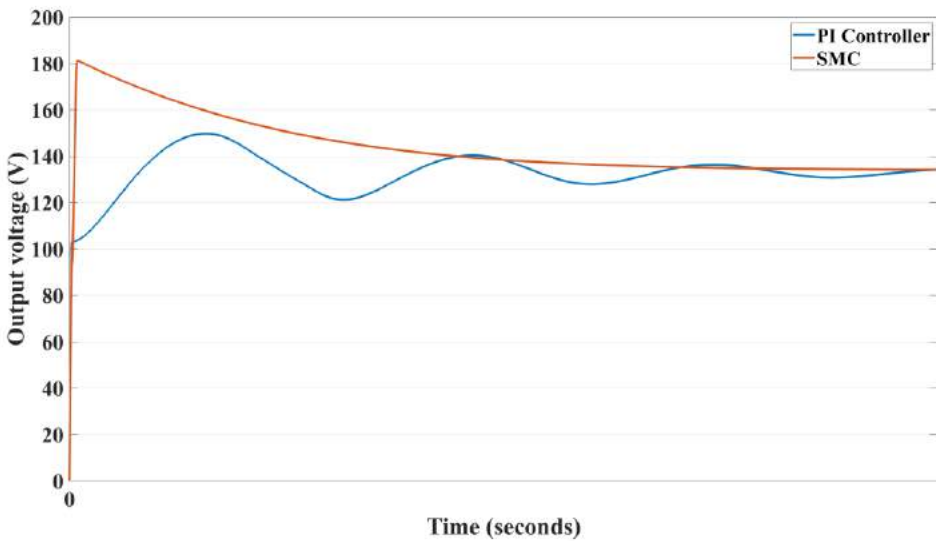
$$P_{in} = u_i i_e = P_{out} = \frac{u_e^2}{R} \tag{42}$$

4. Results and discussions

The schematic design has is organized with an input voltage of 48 V and an output voltage of 132 V. The parameters for prototype design were $C = 220 \mu\text{F}$, $L = 140 \mu\text{H}$, $R = 500 \Omega$ (load resistance). The power converter switching frequency is selected as 50 kHz. All facts about the parameter values can be found in [21]. Different load values applied to test each controller performance and the graphs were compared. The steady-state of the system is determined as the output voltage $V_o \pm$ error margin ($132 \text{ V} \pm 2 \text{ V}$). for both prototypes, we considered two different loads that will apply in different times to analyze the performance of the controllers. Boost converter at the beginning point will start with a 500Ω resistive load and at the $t=0.75\text{sec}$, the second load with the same value will enter to the load side. It is an important criterion to test the stability of the controllers to ensure that the output voltage at the second load connection time conditions is not exceeded the desired ranges. Ideally, no overshoot or undershoot is the desired criteria for a good controller. Figure 6a presents the performance of the controllers in start and load changing times. As can be seen, for the start point, SMC has a higher overshoot value but the settling time to reach to the fixed 132 VDC is shorter for this controller, instead PI controller has an optimal overshoot and damping conditions but the settling time is longer for this controller. As mentioned above, the second load is applied at the $t=0.75\text{sec}$. SMC controller seems have a better performance for load sharing problem since a voltage droop equal with 1 VDC will occur at the output point of the converter by this controller but an overshoot for the PI controller will appear. Figures 6b and 6c show this states with all details.



(a)



(b)

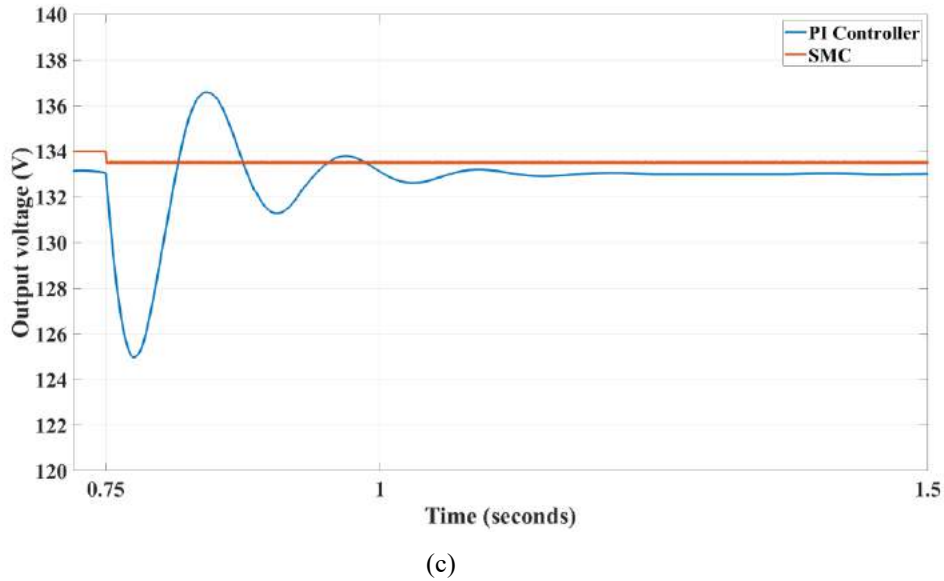
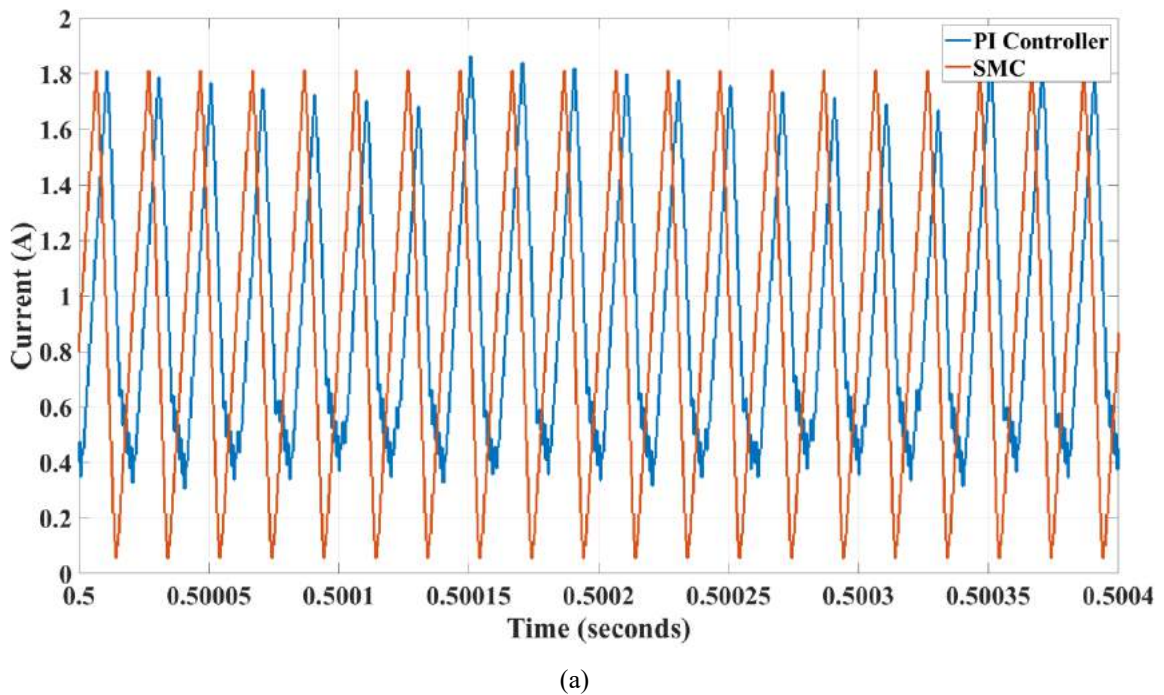
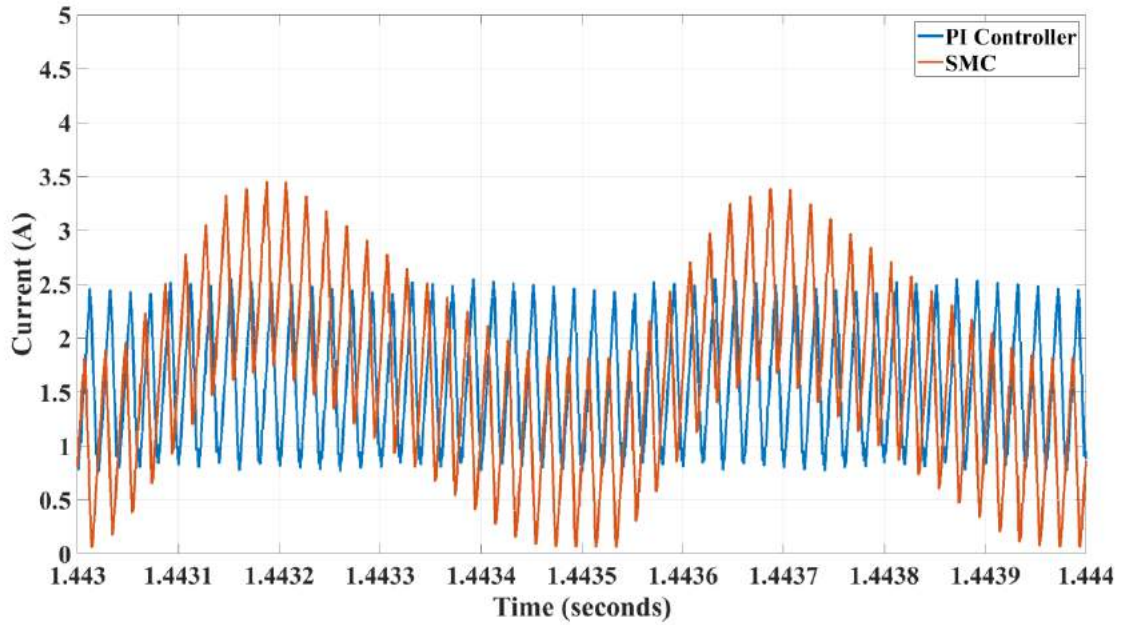


Figure 6. (a) General comparison for PI and SMC performances, and zoomed on (b) start point and (c) load changing time.

Reliability analysis including the current measurements for the inductors and power switches are important issues that can guarantee the long life of the structures since these converters should be work for weeks or months by connection to a PV panel or any other renewable energy sources. Figures 7a and 7b illustrate the inductors currents before and after the load changing respectively. For around 50W of output power, with approximately the same average current values, the waveform of the current for SMC method is better and PI controller passes a dense current t the points that current reaches to zero. For 100W tests, when the second load applied to the output side, the average current for both controllers enhance normally but the mentioned problem for the PI method has remained. This can be seen through figure 7b. also figure 8 presents the current waveforms of the power switch and the same problem seems for this current. So, in order to supply the working security and stability for the power switches SMC can show a better role. Figures 8a and 8b present these currents before and after load changing point.

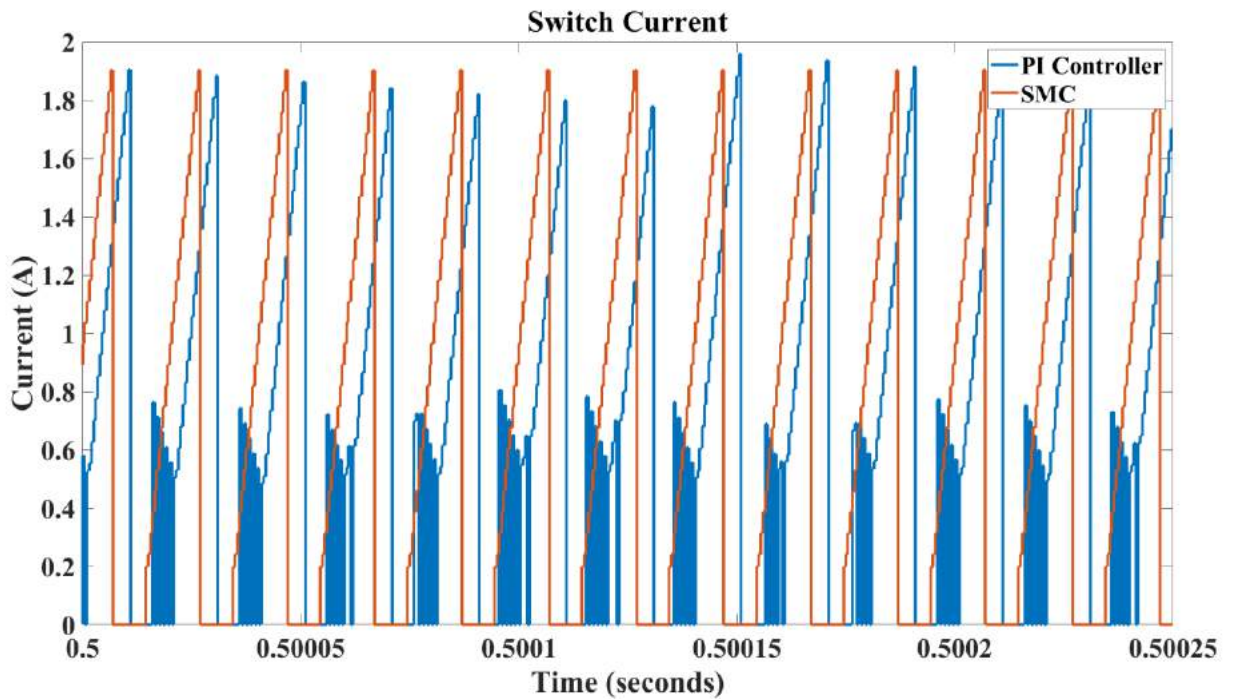




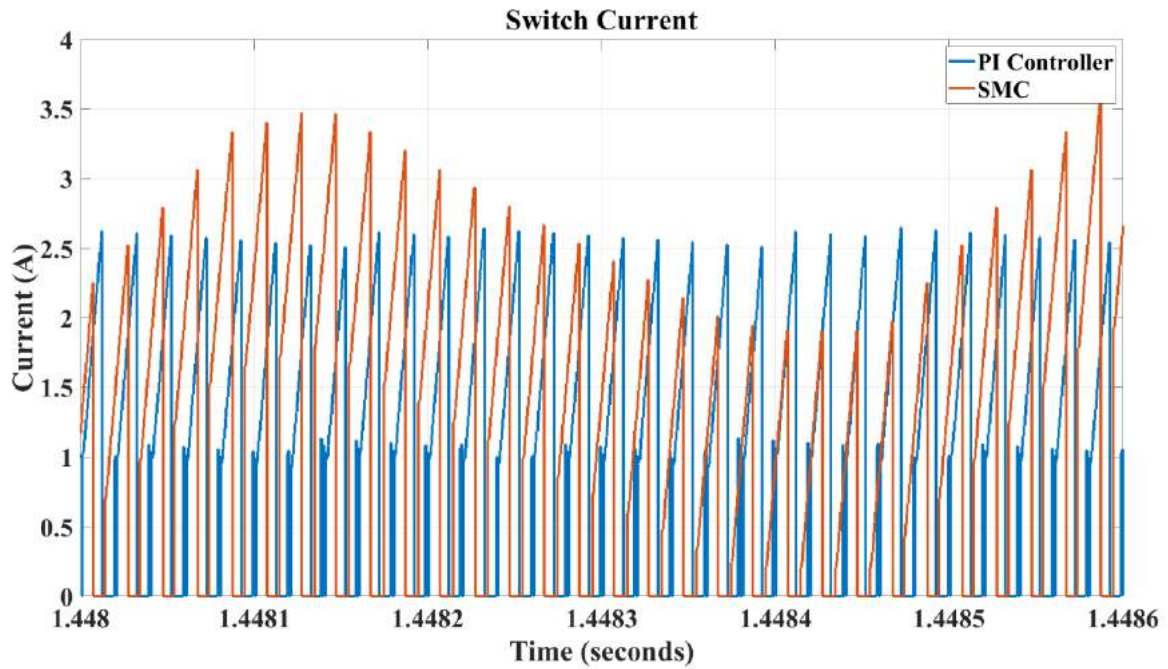
(b)

Figure 7. Inductor current with PI and SMC methods when output power is around (a) 50W and (b) 100W.

Figure 9 presents the output current of the converter by these controllers at the load changing point. Although the PI controller after a short fluctuation reaches to the new level of the current, the SMC controller shows a better performance for this state and with a sharp rise and doubles the current by considering two same values of the loads.



(a)



(b)

Figure 8. Switch current with PI and SMC methods when output power is around (a) 50W and (b) 100W.

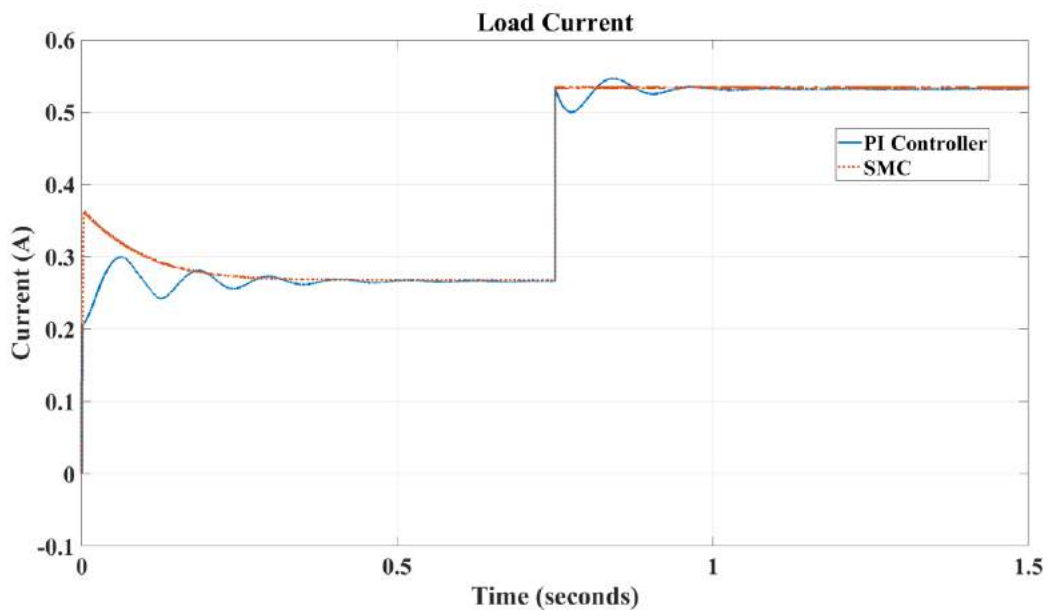


Figure 9. Output current waveforms through the PI and the SMC controller methods.

5. Conclusion

In this study two different PI and SMC methods in order to control and fix the output voltage of a step-up converter presented. For presenting the controller models, in the first step, the mathematical analysis of the converter with a novel space state matrices model presented. The Laplace and inverse Laplace models presented to find the output voltage and input current of the boost converter. In the next step and based on results of the mathematical analysis of the boost converter, two PI and SMC methods introduces to fix the output voltage under the different load values. One of novelty aspects of the PI controller is that it will give sample currents of the inductor to make a relation between the output voltage and the controller strategy in order to generate suitable pulses to drive the power switch and SMC does not need to any sampling for this purpose and acts through tracking the output voltage. For both models, a wide range of equations presented and according to the simulation results, the SMC method showed a better performance. Especially at the start point of the converter, although a higher overshoot for the SMC reported but the damping of this model is less and reaches and tracks the desired voltage at the output side quicker. Also, by changing the load values, the oscillation of the output voltage is less for SMC, while higher voltage fluctuations reported for PI method. Current waveforms for the inductor and power switch show that reliability of the

SMC model acts stronger in comparison with PI method. So we can result, although PI controller has closed to zero steady state error, but the maximum peak and overshoot or undershoot of this controller is better than I (integral) controller and not better than SMC. This results in not using of PI for slow moving variables processes but it can be applicable in motor, generator and turbines speed control process. The basic of the SMC, is a robust control model in order to control the system with uncertainties. The problem of establishing control systems with static and dynamic properties closed to optimal ones according to the determined effectiveness criteria becomes urgent under the conditions of limited access to measurement information and lack of initial information about the control object's properties, which is typical for many technical applications.

5. References

- [1.] Jiang, W., Chincholkar, S. H., and Chan, C. (2018). Investigation of a Voltage-Mode Controller for a dc-dc Multilevel Boost Converter, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 65, 908-912.
- [2.] Sundareswaran, K., and Sreedevi, V. T. (2018) Boost Converter Controller Design Using Queen-Bee-Assisted GA, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56, 778-783.
- [3.] Rana, N., Ghosh, A., and Banerjee, S. (2017). Development of an Improved Tristate Buck-Boost Converter with Optimized Type-3 Controller, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 6, 400-415.
- [4.] Veerachary, M., and Shaw, P. Controller Design and Analysis for Fifth-Order Boost Converter, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54, 4894-4907.
- [5.] Marcillo K. E. L. (2019). Interval Robust Controller to Minimize Oscillations Effects Caused by Constant Power Load in a DC Multi-Converter Buck-Buck System, *IEEE Access*, 7, 26324-26342.
- [6.] Hwu, K. I., and Peng, T. J. (2012). A Novel Buck-Boost Converter Combining KY and Buck Converters, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27, 2236-2241.
- [7.] Wu, H., Mu, T., Ge, H., and Xing, Y. (2016). Full-Range Soft-Switching-Isolated Buck-Boost Converters with Integrated Interleaved Boost Converter and Phase-Shifted Control," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31, 987-999.
- [8.] H. Liu, Y. Ji, L. Wang and P. Wheeler, "A Family of Improved Magnetically Coupled Impedance Network Boost DC-DC Converters," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 5, pp. 3697-3702, May 2018. doi: 10.1109/TPEL.2017.2763153
- [9.] Ghaderi, D., Çelebi, M., Minaz, M. R., Tören, M. (2018). Efficiency Improvement for a DC-DC Quadratic Power Boost Converter by Applying a Switch Turn-off Lossless Snubber Structure Based on Zero Voltage Switching, in *Elektronika ir Elektronika*, vol. 24 no. 3, doi: <https://doi.org/10.5755/j01.eie.24.3.20977>.
- [10.] Rana, N., Kumar, M., Ghosh, A., and Banerjee, S. (2018) A Novel Interleaved Tri-State Boost Converter with Lower Ripple and Improved Dynamic Response," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65, 5456-5465.
- [11.] Forouzes, M., Siwakoti, Y. P., Gorji, S. A., Blaabjerg, F., and Lehman, B. (2017). Step-Up DC-DC Converters: A Comprehensive Review of Voltage-Boosting Techniques, Topologies, and Applications, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32, 9143-9178.
- [12.] Pandey, S. K., Patil, S. L., Phadke, S. B. (2018). Comment on "PWM-Based Adaptive Sliding-Mode Control for Boost DC-DC Converters, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65, 5078-5080.
- [13.] Lee, S., Do, H. (2018). High Step-Up Coupled-Inductor Cascade Boost DC-DC Converter with Lossless Passive Snubber, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65, 7753-7761.
- [14.] Kim, J., Choi, H., Won, C. (2018). New Modulated Carrier Controlled PFC Boost Converter, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33, 4772-4782.
- [15.] Kim, I. H., and Son, Y. I. (2017). Regulation of a DC/DC Boost Converter Under Parametric Uncertainty and Input Voltage Variation Using Nested Reduced-Order PI Observers, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64, 552-562.
- [16.] Genc, N., Uzmus, H., and Iskender, I. (2016). Dynamic behavior of dc-dc boost converter controlled with cascade PI-ASC, *2016 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Ploiesti, 1-4.
- [17.] Rabiaa, O., Mouna, B. H., Lassaad, S., Aymen, F., and Aicha, A. (2018). Cascade Control Loop of DC-DC Boost Converter Using PI Controller, *2018 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)*, Rabat, Morocco, 2018, pp. 1-5.
- [18.] Mohanty, P. R. and Panda, A. K. (2017). Fixed-Frequency Sliding-Mode Control Scheme Based on Current Control Manifold for Improved Dynamic Performance of Boost PFC Converter, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5, 576-586.
- [19.] Chincholkar, S. H., Jiang, W., and Chan, C. (2018). A Modified Hysteresis-Modulation-Based Sliding Mode Control for Improved Performance in Hybrid DC-DC Boost Converter, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 65, 1683-1687.
- [20.] Mokhtar, M., Marei, M. I., and El-Sattar, A. A. (2019). An Adaptive Droop Control Scheme for DC Microgrids Integrating Sliding Mode Voltage and Current Controlled Boost Converters, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10, 1685-1693.
- [21.] Ghaderi, D., Bayrak, G. (2019). A Novel Step-Up Power Converter Configuration for Solar Energy Application, *Elektronika ir Elektronika*, 25, 50-55.



Fotokatalitik yöntemlerle pestisit giderimi: Clothianidin örneği

Güray Salihoğlu^{1*}, Gizem Evrim Dilcan¹, Mojca Kralj², Polonca Trebse²

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0714-048X)

² University of Ljubljana, Faculty of Health Sciences, Slovenia

(İlk Geliş Tarihi 1 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 9 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.600236)

ATIF/REFERENCE: Salihoğlu, G., Dilcan, G.E., Kralj, M. & Trebse, P. (2019). Fotokatalitik yöntemlerle pestisit giderimi: Clothianidin örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 855-862.

Öz

Neonikotinoid grubu pestisitler, nikotine benzeyen davranışlarıyla sinir dokularını etkileyen insektisitlerdir. Bu insektisit grubunun özellikle balırsı kolonileri üzerindeki ölümcül etkileri bilinmektedir. Bunun yanındaki diğer olumsuz ekolojik etkileri nedeniyle bazı türlerinin kullanımı çeşitli ülkelerde yasaklanmıştır. Neonikotinoid grubundan bir insektisit türü olan Clothianidin, su ve toprak gibi çevresel ortamlarda bulunabilen yasaklanmış insektisit türlerinden biridir. Clothianidin kalıcı ve yüksek hareketliliğe sahip, hidrolize dirençli, yeraltısuyuna ve yüzeysel sulara sızma potansiyeline sahip bir neonikotinoid grubu pestisit türü olarak bilinmektedir. Clothianidin görünür ışık karşısındaki fotodegradasyon davranışını belirlemek ve arıtma formülasyonları geliştirmek bu kirleticilerle kirlenmiş atıksuların yönetiminde önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Clothianidin'in ileri oksidasyon yöntemleriyle giderim etkinliğini araştırmaktır. Çalışma kapsamında Clothianidin'in UV-A, UV-C ışınları karşısındaki kararlılığının yanında TiO₂ ve oksijen desteği ile su içerisindeki fotokatalitik bozunması da araştırılmıştır. Clothianidin'in sulu çözeltisi 0-120 dakika arasında değişen süreler boyunca UV-A, UV-A+TiO₂, UV-A+TiO₂+O₂ ve UV-C uygulamalarına tabi tutulmuş, süreç esnasında değişen Clothianidin konsantrasyonu HPLC analizleriyle izlenmiştir. UV-A uygulamasına tabi tutulan çözeltideki Clothianidin düzeyinin sabit kaldığı, kirleticinin herhangi bir bozunmaya uğramadığı gözlenmiştir. Ancak TiO₂ varlığında yapılan UV-A uygulaması, herhangi bir giderim etkisi göstermeyen UV-A uygulamasına göre uygulama süresiyle artan bir Clothianidin giderim eğilimiyle sonuçlanmıştır. UV-A+TiO₂ uygulamasının %42 oranında bir giderimle sonuçlandığı görülmüştür. UV-A+TiO₂ sürecine oksijen ilave edilerek yapılan uygulamada ise oksijenin Clothianidin'in bozunmasına olumlu bir etkisinin olduğu, giderim veriminin artarak %42'den %69 düzeyine ulaştığı görülmüştür. UV-C uygulaması ile 5 dakika gibi kısa bir sürede %99'a varan bir giderim verimi elde edilmiştir. TiO₂ ve oksijen varlığında gerçekleştirilen fotokatalitik yöntemin ve özellikle UV-C uygulamasının diğer yöntemlerden çok daha etkili olduğu ve arıtma çözümlerinde tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Neonikotinoid, ileri arıtma, TiO₂, UV-A, UV-C, fotoliz

Pesticide removal by photocatalytic methods: Clothianidin example

Abstract

Pesticides from neonicotinoids family are known to be insecticides that are effective on neural tissues acting chemically similar to nicotine. Their detrimental effects, especially on honey-bee colonies, are well researched. Their other adverse ecological effects leded restrictions on the usage of several members of this pesticide class in many countries. Clothianidin, an insecticide species from the group of neonicotinoids, is one of the banned insecticide species that can be found in environmental environments such as water and soil. Clothianidin is known as a persistent, mobile, and resistant to hydrolyze and has the potential to leach into groundwater or reach surface waters. It is important to determine the photodegradation ability of Clothianidin under the visible light and develop treatment formulations in the management of wastewaters polluted with this insecticide. This study aimed to investigate the efficacy of Clothianidine removal by advanced oxidation methods. For this purpose, UV-A, UV-C stability was investigated and additional effects of TiO₂ and oxygen addition on oxidation options were determined. Clothianidin solution was subjected to UV-A, UV-C, UV-A+TiO₂, and UV-A+TiO₂+O₂ for changing durations between 0-120 minutes, and degradation process was monitored by conducting HPLC analyses. UV-A stability experiments showed that Clothianidin solution stayed stabile and did not degrade under UV-A. UV-A

¹ Sorumlu Yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0714-048X, gurays@uludag.edu.tr

application conducted in the presence of TiO₂ showed an increasing removal efficiency by time compared to UV-A application. UV-A + TiO₂ application resulted in removal efficiency of 42%. When oxygen was introduced to the UV-A+TiO₂ application, oxygen contributed to the degradation of Clothianidin and the removal efficiency increased to 69% from 42%. Removal efficiency up to 100% was achieved when UV-C was applied for a short time, such as 5 minutes. The experimental findings showed that photocatalytic removal of Clothianidine pesticide was possible when TiO₂ and oxygen were added and especially UV-C method was found to be more effective than the other methods and can be a preferred step in treatment solutions.

Keywords: Neonicotinoids, advanced oxidation, TiO₂, UV-A, UV-C, photolysis.

1. Giriş

Bitki zararlılarını önlemek, püskürtmek veya yok etmek amacıyla kullanılan kimyasal ya da biyolojik ürünlerin tümüne pestisit adı verilmektedir. Kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle bazı pestisitlerin hedef olmayan organizmalar için toksik etkiler gösterdiği bilinmektedir. Bileşiğin kendine özgü özelliklerine bağlı olarak kalıcılık, biyolojik birikim potansiyeli ve toksisite gibi özellikler gösterebilen pestisitler, hedef canlıların dışında, mikroorganizmalar, omurgasızlar, bitkiler ve balıklar gibi hedef olmayan organizmaları da etkileyebilmektedir (Kohler ve Triebkorn, 2013; Le ve diğ., 2017). Kullanıldıkları zararlı canlı gruplarına ya da hedef alınan organizmaya göre, insektisit, fungusit ve herbisitler üç büyük pestisit grubu olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarımsal uygulamalarda sürekli olarak aynı insektisit türlerinin kullanılması, böcek türlerinin zamanla bu insektisitlere karşı duyarlılığını kaybederek dirençli duruma gelmesine neden olmaktadır. Bu durum, bu kimyasal maddelerin sürekli olarak yenilenme gereksinimini ortaya çıkarmaktadır (Fırat ve Aytekin, 2018). Hemen hemen tüm pestisit türlerinin, özellikle çok kalıcı olan organoklorlu pestisit gruplarında kronik toksisite etkileri bilinmektedir. Bunun yanında geçmişte kitlesel ölümlere neden olmuş olan DDT gibi organoklorlu pestisitlerin akut akut toksik ve endokrin bozucu özellikleri bilinmektedir. Fare, kuş ve balıklardaki östrojenik ve/veya androjenik etkileri rapor edilmiştir (Kohler ve Triebkorn, 2013). Bugüne kadar farklı kimyasal sınıflarda yer alan 120'nin üzerinde pestisit türünün endokrin bozucu özellikleri ortaya konmuştur (Kohler ve Triebkorn, 2013). Organoklorlu, organofosfatlı ve karbamat türü pestisitlerin kemirgen, böcek, amfibiler ve balıklarda tiroid bozukluğuna neden oldukları bilinmektedir. Organofosforlu pestisit türlerinin immünotoksik etkileri, omurgalılarda su ve gıda alımı ve davranış (aktivite, yiyecek arama süresi, öğrenme becerisi) metabolizmasında olumsuz etkilerinin olduğu rapor edilmiştir (Paskova ve diğ., 2011). Bu ve benzeri nedenlerle, uzun yıllardır kullanılan organoklorlu, organofosforlu ve karbamat türü insektisitlerin tarımsal uygulamaları zamanla azalmış, bu insektisit türlerine alternatif olarak piretroit ve daha sonraları da neonicotinoid türü insektisitler geliştirilmiştir (Kovganko ve Kashkan, 2004).

Neonicotinoidler, insektisitlerin yeni bir sınıfı olup 30 yıldır tarımsal uygulamalarda kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar, 1990 yılında tarımsal markette %43 oranında organofosforlu, %18 oranında piretroit, %16 oranında karbamatlı pestisitler kullanılırken, günümüzde %80 oranında yeni sistemik insektisit grubu olan neonicotinoidlerin kullanıldığını göstermektedir (Jeschke ve diğ., 2011). Karbamatlı, organofosforlu, piretroit ve fibronil pestisit gruplarının kullanımlarının sırasıyla %8, %3, %2 ve %8'e indiği bilinmektedir (Jeschke ve diğ., 2011).

Neonicotinoidler sinir dokuları üzerinde etkin olan ve nikotine benzeyen pestisitlerdir. Neonicotinoid grubu pestisitlerden imidacloprid, thiamethoxam ve clothianidin, pamuk, mısır, tahıllar, şeker pancarı ve diğerleri gibi farklı mahsullerde tohum iyileştirmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Jeschke ve diğ., 2011). Clothianidin, yaprak bitleri, beyaz sinekler ve tırtıllara karşı özellikle etkilidir. Çeşitli böcek türleri (örneğin *Diabrotica spp.*) bazı sinek türleri (örneğin, *Oscinella frit* ve *Pegomyia spp.*) ve kemirici kurtlar (örneğin, *Agriotes spp.*) için de aktif bir kontrol aracı olarak kullanılmaktadır (Jeschke ve diğ., 2011).

Birçok organizma türü için az toksik etkili olarak tanımlanmış olan neonicotinoidlerin bal arıları ve bazı diğer faydalı böcek türleri için düşük temas düzeylerinde bile potansiyel toksik etkili olabildikleri öne sürülmüştür (Jeschke ve Nauen, 2008). Neonicotinoidler, arıların, gıda kaynaklarına ulaşma yollarını öğrenme ve hatırlama gibi beslenme amaçlı uçuş kabiliyetlerini etkileyebilmektedirler (Whitehorn ve diğ., 2012). Öldürücü dozun altındaki miktarlara maruz kalmaları bile arı davranışlarını değiştirerek kolonilerin hayatta kalmasını güçleştirebilmektedir (Whitehorn ve diğ., 2012).

Tokumoto ve diğ. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, bir neonicotinoid türü olan Clothianidin'in 2008 yılında Japonya'da bazı pirinç tarlaları ve çiftliklerde kullanılması nedeniyle, bu alanları habitat olarak kullanan ve nesli tükenmekte olan *Nipponia nippon* türü kuşların yumurtalarının 3 yıl sonra döllendiği gözlenmiştir.

Olumsuz ekolojik etkileri nedeniyle neonicotinoid pestisit ailesi içinde bazı türlerin kullanımı çeşitli ülkelerde yasaklanmıştır. 2013 yılında Avrupa Komisyonu, balarılarını korumak için Clothianidin, Imidacloprid ve Thiamethoxam neonicotinoidlerinin bitki koruma ürünlerinde kullanımını yasaklamıştır (EU, 2013). Türkiye'de 19.12.2018 tarihli Tarım ve Orman Bakanlığı Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü tarafından çıkarılan genelgede (TOB, 2018), Clothianidin aktif maddesinin zararlarına değinilmekte ve Clothianidin ithalatının 08.02.2019 tarihine kadar, bu maddeyi içeren ürünlerin kullanımının ise 31.07.2019 tarihine kadar sonlandırılması gerektiği belirtilmektedir.

Neonicotinoidlerin su içindeki akıbeti ışık, pH, sıcaklık, formülasyon ve mikrobiyal aktiviteye bağlıdır (Anderson ve diğ., 2015). Clothianidin kalıcı ve yüksek hareketliliğe sahip, hidrolize dirençli, yeraltı suyuna ve yüzeysel sulara sızma potansiyeline sahip bir neonicotinoid grubu pestisit türü olarak bilinmektedir (USEPA, 2003). Yamamoto ve diğ. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada Japonya'nın Osaka kentindeki ve civardaki nehirlerden su örnekleri (n=45) toplanmış ve neonicotinoid düzeyleri belirlenmiştir. Örneklerin %91'inde Clothianidin belirlenmiş ve 3.2×10^{-3} µg/L düzeyinde bir ortalama konsantrasyon rapor edilmiştir (Yamamoto ve diğ., 2012). Neonicotinoidler çok küçük miktarlarda bile böcekler üzerinde toksik etki gösterebilirler. Örneğin arılar tarafından ağır yoluyla alınan Imidacloprid ve Clothianidin'in böcek başına 4-5 ng miktarı popülasyonun %50'sinin ölümüne neden olmaktadır

(LD50 : 4-5 ng/böcek) (Goulson, 2013). Bu oran DDT pestisitini için bilinen ölümcül dozun 1/10000'i seviyesindedir (Goulson, 2013). Suda kolayca çözünen neonikotinoidler bileşiğin yapısına ve toprak tipine bağlı olarak toprakta belli bir yarılanma ömrüne sahiptirler. Yapılan çalışmalarda Clothianidin'in topraktaki yarılanma ömrünün 148 ila 6931 gün arasında değiştiği görülmektedir (Goulson, 2013).

Zararlı etkileri bilinen ve canlı maruziyetinin kaçınılmaz olduğu pestisitlerin giderim mekanizmalarının ve yöntemlerinin araştırılması, riski azaltmak açısından önemlidir. Son yıllarda çeşitli pestisit türleri için UV fotolizinin verimli sonuçlar verdiği (Burrows ve diğ., 2002), ileri oksidasyon süreçlerinin pestisit gideriminde etkili olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Badawy ve diğ., 2006; Chiron ve diğ., 2000; Konstantinou ve Albanis, 2003). UV radyasyonunun istenmeyen mikroorganizmaların DNA yapısını parçaladığı, sonuç olarak fotokimyasal süreçlerin gerçekleştiği belirtilmiştir (Burrows ve diğ., 2002). Heterojen titanyum dioksit (TiO₂) fotokatalizi (Burrows ve diğ., 2002; Cernigoj ve diğ., 2007), foto-Fenton reaksiyonu (Martin ve diğ., 2009), yaygın olarak uygulanan yöntemler arasındadır. Zabar ve diğ. (2011) Tiametoksam, Imidacloprid ve Clothianidin'in sulu çözeltilerinin immobilize edilmiş TiO₂ ile fotokatalitik bozulmaya karşı duyarlılığını araştırmışlar ve TiO₂'in bu neonikotinoidlerin bozunması açısından iyi bir katalizör olduğunu belirtmişlerdir.

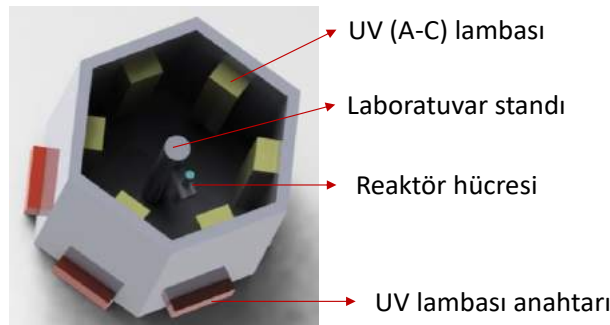
Clothianidin pestisitinin giderimi konusunda yapılan çalışmalar çok sınırlı sayıda ve düzeydedir. Kullanımı oldukça yaygın olan ve özellikle sucul çevresel ortamlara giriş yapmış olan bu pestisitinin giderimiyle ilgili farklı ileri oksidasyon yöntemlerinin detaylı olarak araştırılması ihtiyacı bulunmaktadır. Clothianidin'in görünür ışık karşısındaki fotodegradasyon davranışını belirlemek ve arıtma formülasyonları geliştirmek bu kirleticilerle kirlenmiş atıkların yönetiminde önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Clothianidin'in ileri oksidasyon yöntemleriyle giderim etkinliğini araştırmaktır. Bu amaçla UV-A, UV-C stabilitesi araştırılmış, TiO₂ ve oksijen ilavesinin oksidasyon seçenekleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada sentetik olarak hazırlanan 10 mg/L Clothianidin sulu çözeltisi 0-120 dakika arasında değişen süreler boyunca UV-A, UV-C, UV-A+TiO₂ ve UV-A+TiO₂+O₂ uygulamalarına tabi tutulmuştur. Çalışmada Dr. Ehrenstorfer GmbH (Augsburg, Germany, EU) marka, %99,25 (g/g) saflıkta toz halde Clothianidin ve Linde Kisik marka %99,5 saflıkta Oksijen, Sigma-Aldrich (St. Louis, Missouri, USA) marka asetik asit ve asetonitril (HPLC Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi-High Performance Liquid Chromatography kalitesi Chromasolv) kullanılmıştır. Çift deiyonize su (<18 MΩ /cm-) nano pure su sistemi (Barnstead, USA) ile hazırlanmıştır.

Çözeltideki Clothianidin düzeyi Agilent 1100 HPLC-UV-Vis kromatografisi (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, ABD) ile analiz edilmiştir. Ayrıştırma, Supelco Ascentis® Express 5 µm C18 kolonu (5 µm, 150 mm x 4,6 mm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık 25°C'ye ayarlanmıştır. Enjeksiyon hacmi 20 µL'dir. Mobil faz 1,0 mL dk-1 akış hızında olup %40 asetonitril ve % 60 asetik asitten (%1,0'lik) oluşmaktadır. Dalga boyu 260 nm'dir. Ölçümleri doğrulamak için, 0,5 mg/L ila 50 mg/L aralığında kalibrasyon eğrileri hazırlanmıştır. Analiz için kullanılan viallere 1 ml'lik hacimlerde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler viallerden otomatik örnekleyi sayesinde otomatik olarak kolonlara iletilmesini sağlamaktadır.

Deneylerde 280 mm çapında (iç çapı 80 mm), etkin hacmi 1500 mL olan Duran marka cam bir reaktör kullanılmıştır. UV-C uygulamaları için kuartz reaktör hücresi kullanılmıştır. Reaktörün parlak alüminyum kaplı yansıtıcı yüzeyine 6 adet ultraviyole A (UV-A) lamba (15 W, 265 mm x 16 mm, Philips Cleo, maksimum 355 nm genişliğinde) ve 6 adet ultraviyole C (UV-C) lamba (265 mm x 16 mm, Philips Cleo, maksimum 254 nm genişliğinde) yerleştirilmiştir. Reaktörün şematize edilmiş gösterimi Şekil 1'de verilmektedir. Reaktör hücresi lambalardan 10 cm uzaklıkta bulunan merkeze yerleştirilmiştir.



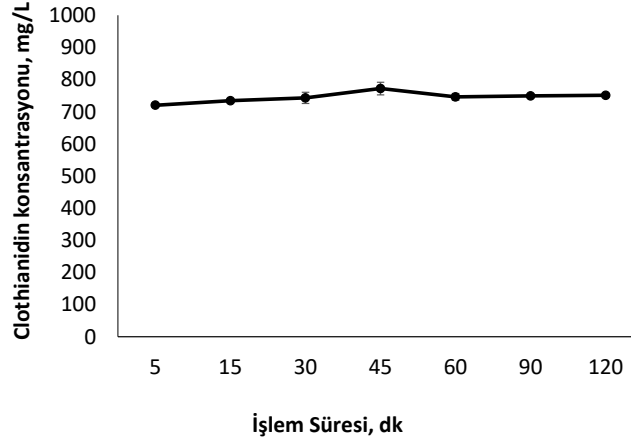
Şekil 1. Deneylerde kullanılan reaktörün şematize edilmiş gösterimi

Silikon (SiO₂) kaplamalı cam levhaların her iki yüzeyinde sol-jel işlem tekniğiyle şeffaf TiO₂ çökelekleri oluşturulmuştur (Cernigoj ve diğ., 2007). Bu şekilde TiO₂ katalizörü cam levhalar üzerinde immobilize edilmiştir. Cam levhaların boyutları 190 mm x 12,5 mm x 2 mm'dir. Cam levha üzerine düşen ve tartılarak belirlenen katalizör miktarı 225 µg/cm² düzeyindedir. TiO₂ katalizörü ile immobilize edilmiş veya edilmemiş (sürece göre) on iki cam levha, reaktör hücresinin ortasına yerleştirilmiş özel bir teflon tutucu eksenini etrafına sabitlenmiştir. Silindirik tüpe bulunan Linde Kisik marka %99,5 saflıkta oksijen ince boru vasıtasıyla reaktör hücresine iletilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. UV-A Uygulamasıyla Clothianidin Giderimi

Şekil 2’de Clothianidin sulu çözeltisine 120 dakika boyunca UV-A uygulandığında Clothianidin konsantrasyonlarında görülen değişim verilmektedir. Şekle göre sadece UV-A ışınlarına maruz kalan Clothianidin’in UV-A maruziyeti altında oldukça kararlı durumda kaldığı, konsantrasyon düzeylerinde önemli bir değişim olmadığı görülmektedir.

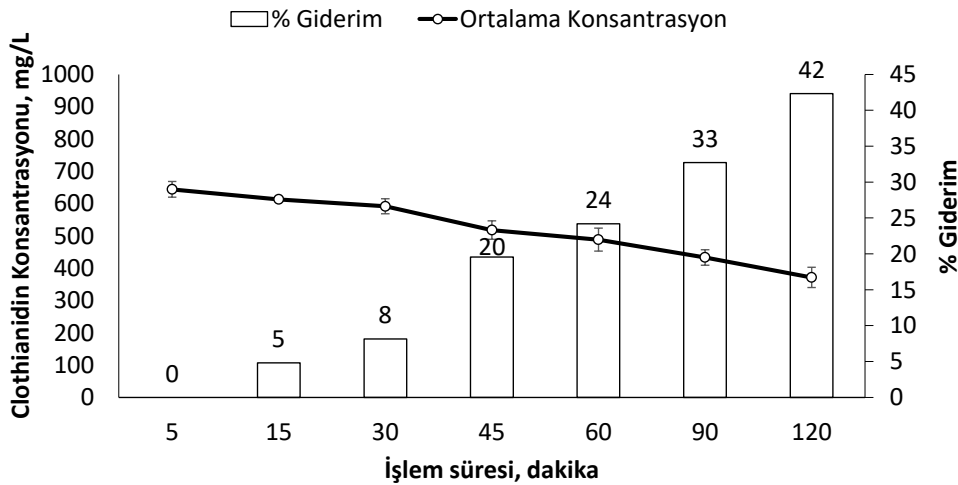


Şekil 2. UV-A uygulamasıyla Clothianidin düzeylerinde görülen değişim

Affam ve Chaudhuri (2013) UV-A ışınları altında Chlorpyrifos, Cypermethrin ve Chlorothalonil pestisitlerinin sulu çözeltilerinin TiO_2 ile H_2O_2 varlığında giderimlerini araştırmıştır. Bu pestisitlerin 320 nm’nin üzerinde UV ışınımını absorbe etmediği ve bu nedenle, UV-A (365 nm) ışınlarının tek başına kullanımından kaynaklı kayda değer bir bozunma beklenmediği öne sürülmüştür (Affam ve Chaudhuri, 2013). Bu çalışmada araştırma konusu olan Clothianidin pestisitinin Affam ve Chaudhuri (2013) tarafından araştırılan Chlorpyrifos, Cypermethrin ve Chlorothalonil pestisitlerine benzer şekilde UV-A maruziyeti altında kararlı olduğu söylenebilir. Clothianidin pestisitinin de diğerleri gibi 320 nm’nin üzerindeki UV-A ışınlarına maruz kaldığında fotodegradasyona uğramadığı sonucu çıkarılabilir.

3.2. UV-A + TiO_2 Uygulamasıyla Clothianidin Giderimi

Şekil 3’te UV-A’nin TiO_2 ile birlikte uygulanmasıyla Clothianidin düzeylerinde görülen değişim verilmektedir.



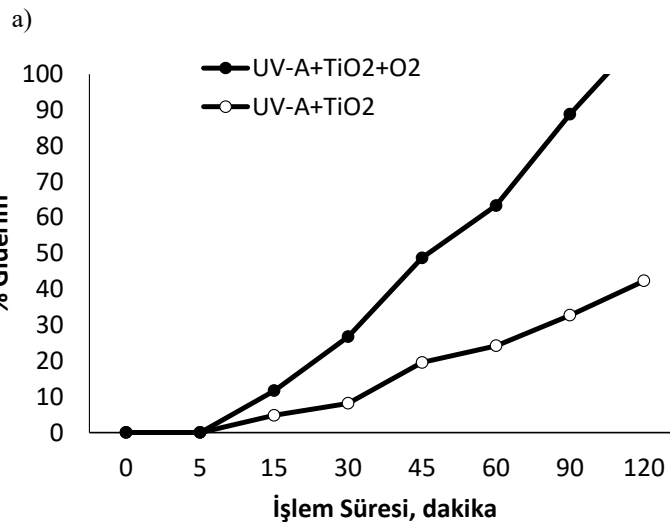
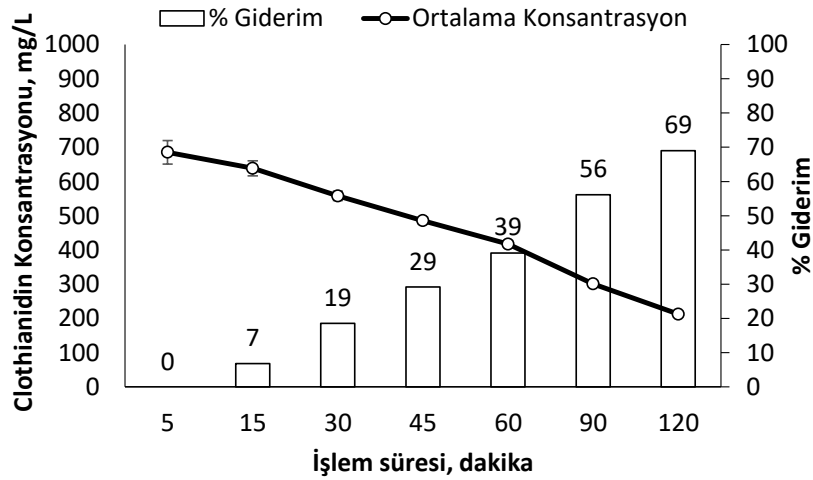
Şekil 3. UV-A + TiO_2 uygulamasıyla Clothianidin düzeylerinde görülen değişim

TiO₂ varlığında yapılan UV-A uygulaması, herhangi bir giderim etkisi göstermeyen UV-A uygulamasına göre uygulama süresiyle artan bir Clothianidin giderim eğilimiyle sonuçlanmıştır. 120 dakikalık uygulama sonucunda %42 oranında Clothianidin giderimi elde edilmiştir. TiO₂ katalizörünün üstün fotokatalitik oksidasyon kabiliyeti olduğu bilinmektedir (Lorret ve diğ., 2009). UV ışığı TiO₂ gibi yarı iletken partiküllerle birlikte olduğunda, fotonlar yarı iletken tarafından absorbe edilmekte ve fotokatalitik bir bozunma gerçekleşmektedir (Schneider ve diğ., 2014). Yarı iletken TiO₂ katalizörü yeterli enerjiye maruz kaldığında elektronlar (e⁻) ve boşluklar ortaya çıkarak bir dizi redoks reaksiyonlarına sebep olurlar (Schneider ve diğ., 2014). TiO₂'in boşluklarının oksidasyon güçlerinin, uyarılan elektronların indirgeme güçlerinden daha fazla olduğu, yüzeyine sıkıca tutunmuş bir su moleküllü tabakasının bulunduğu bilinmektedir (Fujishima ve Zhang, 2006). Yüze tutunmuş bu su molekülleri boşluklar tarafından oksitlendiğinde, yüksek oksitleme gücüne sahip hidroksil radikalleri (\bullet OH) oluşmaktadır. Hidroksil radikalleri başlangıçta serbest radikaller (paylaşılmamış bir elektronu olan kararsız moleküller) oluşturarak, sonradan organik bileşiklerle reaksiyona girerler (Fujishima ve Zhang, 2006). Ortamda moleküler oksijen olduğu zaman, ortamda bulunan paylaşılmamış elektronlar sayesinde organik peroksil radikalleri oluşturarak serbest radikallerle reaksiyona girerler; bu radikaller, zincir reaksiyonlarda yer alırlar (Fujishima ve Zhang, 2006). Kısa bir süre içerisinde organik bileşiğin tamamen parçalanarak karbon dioksit ve suya dönüşmesi mümkündür (Hashimoto ve diğ., 2005).

Zabar ve diğ. (2011), Tiametoksam, Imidacloprid ve Clothianidin'in sulu çözeltilerinin immobilize edilmiş TiO₂ ile fotokatalitik bozulmaya karşı duyarlılığını araştırmışlar ve Tiametoksam'ın %9,9, Imidacloprid'in %1.1 ve Clothianidin'in %8 oranında bozulduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada sadece UV-A ışınlarına maruz bırakılan Clothianidin'de herhangi bir bozunma gözlenmezken, TiO₂ varlığında bu pestisitinin bozulmaya uğradığı görülmüştür (Zabar ve diğ., 2011). Chu ve Wong (2004) doğrudan fotolizin tek başına oldukça yavaş bir işlem olduğunu, ancak TiO₂ katalizörünün UV-A ışınları ile birlikte kullanılması durumunda reaksiyon hızlarının yaklaşık 3 ila 5 kat arttığını belirtmişlerdir.

3.3.UV-A + TiO₂+ O₂ Uygulamasıyla Clothianidin Giderimi

Şekil 4a'da UV-A'nin TiO₂+O₂ ile birlikte uygulanmasıyla Clothianidin düzeylerinde görülen değişim görülmektedir. Şekil 4b'de ise elde edilen giderim verimleri O₂ ilavesinin yapılmadığı UV-A+TiO₂ uygulamasının giderim verimleriyle karşılaştırılmaktadır.



b)

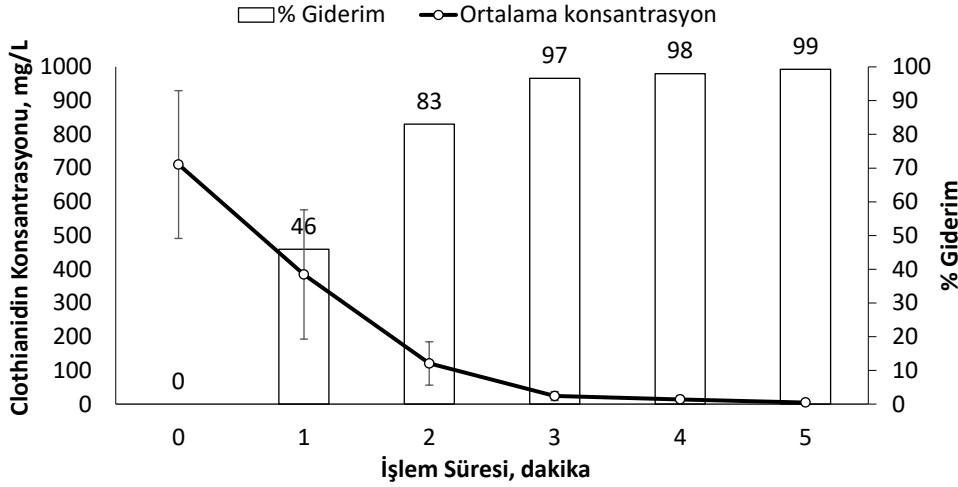
Şekil 4. UV-A+TiO₂+O₂ uygulaması, a) Clothianidin düzeylerinde görülen değişim, b) Giderim verimlerinin O₂'nin uygulanmadığı durumla karşılaştırılması

Sürece oksijen ilave edilerek yapılan uygulamada oksijenin Clothianidin'in bozunmasına olumlu bir etkisinin olduğu gözlenmiştir. Şekil 4a'da Clothianidin gideriminin 120 dakika sonunda %69 düzeyine ulaşabildiği görülmektedir. Şekil 4b'de görüldüğü gibi O₂'nin olmadığı uygulamada aynı sürede verim %42 düzeyine ulaşabilmiştir.

Banic ve diğ. (2016) %70 Imidacloprid içeren Confidor 70-WG, %44,4 Tiacloprid içeren Calypso 480-SC, %20 Acetamiprid içeren Mospilon 20-SP VE %25 Thiomethoxam içeren Actora 25-WC neonikotinidlerinin fotokatalitik yöntemlerle giderimini araştırmışlardır. Çalışmada %44,4 Tiacloprid içeren Calypso 480-SC neonikotinoid UV-A ışınları altında iken, oksijen beslemesi yapılmış ve fotokatalitik giderim belirlenmiştir (Banic ve diğ., 2016). Sadece UV-A ışınlarına maruz bırakılan örnekle UV-A ışınlarına ilave oksijen beslemesi yapılan örnek karşılaştırıldığında oksijen beslemesinin bozunma verimliliğinin artırdığı gözlenmiştir (Banic ve diğ., 2016). Sonuçlar oksijen varlığının fotokatalitik süreçte etkili bir faktör olabileceğini göstermektedir. Katalizör yüzeyinde adsorbe edilen oksijen, elektron alıcısı olarak hareket etmekte ve bozunma prosesinden sorumlu diğer aktif radikalleri oluşturmaktadır (Banic ve diğ., 2016). Serbest radikaller eşlenmemiş elektron bulundurdıklarından dolayı diğer maddelerle kolaylıkla reaksiyona girebilmekte ve insektisit bozunma verimini artırmaktadırlar. Bu çalışmada Banic ve diğ. (2016) tarafından rapor edilen bulgulara benzer şekilde oksijeninin fotokatalitik bozunmayı sağlayan aktif radikalleri oluşturarak Clothianidin'in bozunmasını artırdığı söylenebilir.

3.4.UV-C Uygulamasıyla Clothianidin Giderimi

Şekil 5'te UV-C uygulamasıyla Clothianidin düzeylerinde görülen değişim verilmektedir.



Şekil 5. UV-C uygulamasıyla Clothianidin düzeylerinde görülen değişim

Sadece UV-C ışınına maruz bırakılan Clothianidin'in ilk 5 dakikada neredeyse %100'e varan bir verimle bozunduğu Şekil 5'te görülmektedir. Bustos ve diğ. (2019) tarafından Dichlorvos adlı organofosfor pestisitinin UV-C (254 nm) ışınları altında oksijen varlığında ve yokluğunda fotodegradasyonunun araştırıldığı çalışmada sadece UV-C ışınlarına maruz bırakılan örneğin %71 oranında giderildiği gözlenmiştir. Bu durumdan yola çıkılarak UV-C ışınlarının reaktif oksijen türleri oluşumuna katkıda bulunduğu gözlenmiştir (Bustos ve diğ., 2019). UV-C ışıklarının organik kirleticilerin giderilmesine neden olan OH• radikallerinin üretiminde etkin olduğu, bu radikallerin seçici olmayıp tüm organik maddeler ile reaksiyona girerek son ürün olarak CO₂ ve H₂O oluşturduğu bilinmektedir (De Laat ve diğ., 1999). Yapılan çalışmada UV-C ışınlarının reaktif oksijen türlerinin oluşumunu artırdığı ve oluşan serbest radikallerin Clothianidin'i hızlı bir şekilde parçaladığı sonucu çıkarılabilir.

4. Sonuçlar

Yaygın olarak kullanılan ve karıştığı çevresel ortamlarda kalıcılık gibi özellikler gösteren, özellikle ekosistemin devamlılığında önemli bir yeri olan balarılarının yok olmasına neden olan neonikotinoid türü bir pestisit olan Clothianidin'in fotokatalitik yöntemlerle giderimi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Sadece UV-A ışınlarına maruz kalan Clothianidin'in oldukça kararlı davrandığı, konsantrasyonunda herhangi bir değışim olmadığı görülmüştür.
- TiO₂ varlığında yapılan UV-A uygulaması, herhangi bir giderim etkisi göstermeyen UV-A uygulamasına göre uygulama süresiyle artan bir Clothianidin giderim eğılimiyle sonuçlanmıştır. 120 dakikalık UV-A + TiO₂ uygulaması sonucunda %42 oranında Clothianidin giderimi elde edilmiştir.
- UV-A + TiO₂ uygulamasına oksijen ilave edildiğinde Clothianidin gideriminin 120 dakika sonunda %42'den %69 düzeyine ulaşabildiğı görülmüştür.
- Sadece UV-C ışınına maruz bırakılan Clothianidin ilk 5 dakikada neredeyse %100'e varan bir verimle bozunmaya uğramıştır.

Clothianidin giderimi için elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Uygulanan fotokatalitik yöntemlerle elde edilen Clothianidingiderim düzeyleri

Uygulama	Süre (dk)	Giderim verimi
UV-A	120	Giderim gzenmedi.
UV-A+TiO ₂	120	% 42
UV-A+TiO ₂ +O ₂	120	% 69
UV-C	5	% 99

UV-C uygulamasının Clothianidin gideriminde hem çok kısa bir sürede sonuç verdiğı ve hem de yüksek bir verim sağladığı gözlenmiştir. Suyun içerisinde znmş halde bulunan Clothianidin neonikotinoidini arıtmak üzere kullanılabilir UV-C uygulamasının avantajı hiçbir kimyasal madde ilavesine gerek kalmadan tek başına %100'e yakın bir oranda giderim sağlamasıdır. Clothianidin içeren atıksuların arıtımında UV-C uygulamalarının kısa sürede etkili bir üzüm sunacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Affam, A. C., & Chaudhuri, M. (2013). Degradation of pesticides chlorpyrifos, cypermethrin and chlorothalonil in aqueous solution by TiO₂ photocatalysis. *Journal of Environmental Management*, 130, 160-165. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.08.058
- Anderson, J. C., Dubetz, C., & Palace, V. P. (2015). Neonicotinoids in the Canadian aquatic environment: A literature review on current use products with a focus on fate, exposure, and biological effects. *Science of The Total Environment*, 505, 409-422. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.09.090
- Badawy, M. I., Ghaly, M. Y., & Gad-Allah, T. (2006). Advanced oxidation processes for the removal of organophosphorus pesticides from wastewater. *194(1-3)*, 166-175.
- Banic, N. D., Abramovic, B. F., Sojic, D. V., Krstic, J. B., Fincur, N. L., & Bakovic, I. P. (2016). Efficiency of neonicotinoids photocatalytic degradation by using annular slurry reactor. *Chemical Engineering Journal*, 286, 184-190. doi: 10.1016/j.cej.2015.10.076
- Burrows, H. D., Canle, M., Santaballa, J. A., & Steenken, S. (2002). Reaction pathways and mechanisms of photodegradation of pesticides. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology*, 67(2), 71-108. doi: Doi 10.1016/S1011-1344(02)00277-4
- Bustos, N., Cruz-Alcalde, A., Iriel, A., Cirelli, A. F., & Sans, C. (2019). Sunlight and UVC-254 irradiation induced photodegradation of organophosphorus pesticide dichlorvos in aqueous matrices. *Science of The Total Environment*, 649, 592-600. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.254
- Cernigoj, U., Stangar, U. L., & Trebse, P. (2007). Degradation of neonicotinoid insecticides by different advanced oxidation processes and studying the effect of ozone on TiO₂ photocatalysis. *Applied Catalysis B-Environmental*, 75(3-4), 229-238. doi: 10.1016/j.apcatb.2007.04.014
- Chiron, S., Fernández-Alba, A. R., Rodriguez, A., & García-Calvo, E. (2000). Pesticide chemical oxidation: state-of-the-art. *Water Research*, 34, 366-377.
- Chu, W., & Wong, C. C. (2004). The photocatalytic degradation of dicamba in TiO₂ suspensions with the help of hydrogen peroxide by different near UV irradiations. *Water Research*, 38(4), 1037-1043. doi: 10.1016/j.watres.2003.10.037
- De Laat, J., Gallard, H., Ancelin, S., & Legube, B. (1999). Comparative study of the oxidation of atrazine and acetone by H₂O₂/UV, Fe(III)/UV, Fe(III)/H₂O₂/UV and Fe(II) or Fe(III)/H₂O₂. *Chemosphere*, 39(15), 2693-2706. doi: Doi 10.1016/S0045-6535(99)00204-0
- EU. (2013). Commission Implementing Regulation (EU) No 485/2013 of 24 May 2013. *Official Journal of the European Union*, L 139/12.
- Firat, ., & Aytakin, T. (2018). Neonikotinoid insektisit thiamethoxamın *Oreochromis niloticus*'ta oksidatif stres parametreleri üzerine etkisi. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 20(2), 224-234.

- Fujishima, A., & Zhang, X. T. (2006). Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. *Comptes Rendus Chimie*, 9(5-6), 750-760. doi: 10.1016/j.crci.2005.02.055
- Goulson, D. (2013). REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 977-987. doi: 10.1111/1365-2664.12111
- Hashimoto, K., Irie, H., & Fujishima, A. (2005). TiO₂ photocatalysis: A historical overview and future prospects. *Japanese Journal of Applied Physics Part I-Regular Papers Brief Communications & Review Papers*, 44(12), 8269-8285. doi: 10.1143/Jap.44.8269
- Jeschke, P., & Nauen, R. (2008). Neonicotinoids - from zero to hero in insecticide chemistry. *Pest Management Science*, 64(11), 1084-1098. doi: 10.1002/ps.1631
- Jeschke, P., Nauen, R., Schindler, M., & Elbert, A. (2011). Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7), 2897-2908. doi: 10.1021/jf101303g
- Kohler, H. R., & Triebkorn, R. (2013). Wildlife Ecotoxicology of Pesticides: Can We Track Effects to the Population Level and Beyond? *science*, 341(6147), 759-765. doi: 10.1126/science.1237591
- Konstantinou, I. K., & Albanis, T. A. (2003). Photocatalytic Transformation of Pesticides in Aqueous Titanium Dioxide Suspensions Using Artificial and Solar Light: Intermediates and Degradation Pathways. *Applied Catalysis B: Environmental*, 42, 319-335.
- Kovganko, N. V., & Kashkan, Z. N. (2004). Advances in the synthesis of neonicotinoids. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 40(12), 1709-1726. doi: DOI 10.1007/s11178-005-0089-y
- Le, T. D. H., Scharnmüller, A., Kattwinkel, M., Kuhne, R., Schuurnann, G., & Schafer, R. B. (2017). Contribution of waste water treatment plants to pesticide toxicity in agriculture catchments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, 135-141. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.027
- Lorret, O., Francova, D., Waldner, G., & Stelzer, N. (2009). W-doped titania nanoparticles for UV and visible-light photocatalytic reactions. *Applied Catalysis B-Environmental*, 91(1-2), 39-46. doi: 10.1016/j.apcatb.2009.05.005
- Martin, M. M. B., Perez, J. A. S., Lopez, J. L. C., Oller, I., & Rodriguez, S. M. (2009). Degradation of a four-pesticide mixture by combined photo-Fenton and biological oxidation. *Water Research*, 43(3), 653-660. doi: 10.1016/j.watres.2008.11.020
- Pašková, V., Hilscherová, K., Bláha, L. (2011). Teratogenicity and Embryotoxicity in Aquatic Organisms After Pesticide Exposure and the Role of Oxidative Stress. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 211, 25–61, doi: 10.1007/978-1-4419-8011-3_2.
- Schneider, J., Matsuoka, M., Takeuchi, M., Zhang, J. L., Horiuchi, Y., Anpo, M., & Bahnemann, D. W. (2014). Understanding TiO₂ Photocatalysis: Mechanisms and Materials. *Chemical Reviews*, 114(19), 9919-9986. doi: 10.1021/cr5001892
- TOB. (2018). Neonicotinoid Grubu Aktif Maddelerin Yasaklanması ve Kısıtlanması Kararı. *TC Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Karar Yazısı, Sayı :81466379-320.04.02-E.3768012, Tarih: 19.12.2018.*
- Tokumoto, J., Danjo, M., Kobayashi, Y., Kinoshita, K., Omotehara, T., Tatsumi, A., . . . Hoshi, N. (2013). Effects of Exposure to Clothianidin on the Reproductive System of Male Quails. *Journal of Veterinary Medical Science*, 75(6), 755-760. doi: 10.1292/jvms.12-0544
- USEPA. (2003). Fact Sheet for Clothianidin. *United States Environmental Protection Agency (7501C), Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, Name of Chemical: Clothianidin, Reason for Issuance: Conditional Registration, Date Issued: May 30, 2003.*
- Whitehorn, P. R., O'Connor, S., Wackers, F. L., & Goulson, D. (2012). Neonicotinoid Pesticide Reduces Bumble Bee Colony Growth and Queen Production. *science*, 336(6079), 351-352. doi: 10.1126/science.1215025
- Yamamoto, A., Terao, T., Hisatomi, H., Kawasaki, H., & Arakawa, R. (2012). Evaluation of river pollution of neonicotinoids in Osaka City (Japan) by LC/MS with dopant-assisted photoionisation. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(8), 2189-2194. doi: 10.1039/c2em30296a
- Zabar, R., Dolenc, D., Jerman, T., Franko, M., & Trebse, P. (2011). Photolytic and photocatalytic degradation of 6-chloronicotinic acid. *Chemosphere*, 85(5), 861-868. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.06.107



Sosyal Medya Platformu Üzerinde Gizli Anlam Analizi

Volkan Altıntaş^{1*}, Kamil Topal², Mehmet Albayrak³

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1560-9017)

² Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0266-7365)

³ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uzaktan Eğitim MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7089-122X)

(İlk Geliş Tarihi 11 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 9 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.590521)

ATIF/REFERENCE: Altıntaş, V., & Topal, K., & Albayrak, M. (2019). Sosyal Medya Platformu Üzerinde Gizli Anlam Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 863-869.

Öz

Günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelen İnternet ve sosyal medya alanındaki gelişmeler ile birlikte, bilgisayar ve mobil cihaz kullanıcıların farklı mecralardaki yorumlarında büyük artış yaşanmaktadır. Bu büyük veri miktarında artış nedeniyle, kullanıcı paylaşımlarında konu başlıklarını ve özelliklerinin doğru ve otomatik olarak çıkarılması önemli bir problem haline gelmiştir. Çeşitli platformlarda paylaşılan kullanıcı metinleri, ilişkisel olmayan ve düzensiz verilerdir. Bu verileri sınıflandırmak, büyük veri işleme ve yapay zekâ çalışma alanlarından biri olan doğal dil işleme için önemli bir konudur. Doğal dil işlemenin kullanım amaçları arasında, ilişkisel olmayan düzensiz metinlerden, anlamlı veriler elde etmek önemli bir çalışma konusudur. Buradan hareketle; iki insanın karşılıklı anlaştığı doğal bir dili anlayıp, cevap verme, özet çıkarma, gibi doğal bir insan zekasının yapabildiğini çok daha hızlı yapabilmek büyük bir önem taşımaktadır. Doğal dil işlemenin alt çalışma alanlarından biri olan konu modelleme, birçok belgenin hangi konuları içerdiğini ve bu konuların önemli özelliklerini ortaya koyar. Günümüzde birçok içerik sağlayıcılar, takipçilerine, anlık içeriklerin önerilmesi işleminde, konu modelleme yapılarını kullanarak, veri akışını doğru kişilere, çok hızlı bir şekilde yönlendirebilirler. Daha önceden etiketlenmiş eğitim setine gerek duymayan Gizli Anlam Analizi (Latent Semantic Indexing - LSI) algoritması bu çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada, Türkçe kullanıcı girdilerinin yer aldığı Ekşisözlük platformunda, "Apple", "Samsung" ve "Microsoft" başlıklı tartışmalar elde edilerek ve bu tartışmaların alt konu başlıkları "Gizli Anlam Analizi" yöntemi ile modellenmiştir. Toplanan verilerden alt konu başlıkları bulunarak, elde edilen konu başlıkları ile kategoriler karşılaştırılmış, karşılaştırma sonucunda F-Score ile doğruluk oranı ölçülmüştür. Elde edilen F-Score değeri, %74 doğruluk oranı ile bu veri seti ve bu algoritma için sınıflandırma yapıldığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Dil İşleme, Gizli Anlam Analizi, Metin Madenciliği.

Latent Semantic Analysis on Social Media Platform

Abstract

There is a dramatic rise in the number of comments in İnternet, which is an indispensable tool for our daily lives. Modelling topics and their features have become more important because of this high volume. Social media users' texts shared in various social media websites are unstructured and not relational data. Clustering this data is one of the most important study area of Natural Language Processing which is a crucial branch of Artificial Intelligence. The purpose of NLP is to get information from unstructured data and react in proper way just like two human being understand each other via a natural language. NLP can do such these jobs faster than natural intelligence. Topic Modelling produces the results of existing topics and their features from large collection of documents. Content providers may distribute the information to the right people fast by using topic modelling tools. In this study, we use Latent Semantic Indexing (LSI) algorithm since it does not need annotated data to train the model. We collect Turkish entries related to "Apple", "Samsung" and "Microsoft" in Ekşisözlük and find the subtopics of the discussions. Sub topics were found and the topics were compared with the categories and F-Score was measured for accuracy. The obtained F-Score showed 74% accuracy rate for this data set and this algorithm.

Keywords: Natural Language Processing, Latent Semantic Analyses, Text Mining.

* Sorumlu Yazar: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1560-9017, volkanaltintas@gmail.com

1. Giriş

Web dünyasının genişlemesi ve farklı alanlarda kullanılmasıyla birlikte, erişilebilen yapısal olmayan veri miktarı da artmıştır. Bilgi geri getirmesi ve doğal dil işleme gelişen web teknolojileri sayesinde öne çıkan çalışma alanları haline gelmiştir. Elektronik ortamdaki dokümanlar, kullanıcı geri bildirimleri ve Twitter, Facebook gibi sosyal medya platformlarının sağladığı veriler/yorumlar ile doğal dil işleme yeni uygulama alanları katılmıştır.

Son birkaç yılda yapılan çalışmalar ve uygulamalar incelendiğinde; yapısal olmayan veriler/veritabanı, başka bir deyişle her bir bilginin belirli/ilgili alanda yer aldığı ilişkisel veritabanı yapısı yerine, tüm bilgilerin karmaşık ve düzensiz yer aldığı metinlerden istatistiksel ve matematiksel yöntemler kullanarak anlamlı bilgiler çıkartmak amacı ile doğal dil işlemenin sıklıkla kullanıldığı göze çarpmaktadır. Doğal dil işlemenin üzerinde çalıştığı öne çıkan alt alanlar; yazar tanıma, otomatik özet çıkarma, konu modelleme, sınıflandırma ve kümeleme işlemidir [1].

Kelime anlamı temsillerinde sayma tabanlı ve tahmine dayalı yöntemler kullanılmaktadır. Gizli Anlam Analizi (GAA) [2], sayma tabanlı metotlar kelime anlamı temsil etme işleminde çok kullanılan yöntemlerdendir [3][4]. Dokümanlardan oluşan veriler gizli anlam analize girdi olarak verilir. Her dokümanda bulunan her terim için doküman-terim sıklık matrisi oluşturulur. Daha sonra bu matrisen boyut dönüştürme işlemi için “Tekil Değer Ayrıştırma (TDA)” uygulanır. Her bir kelime için vektör temsilleri elde edilir. Anlamsal benzerliğin ortaya çıkarılması için iki kelime vektörü arasındaki açının kosinüsü hesaplanır [5]. Bu çalışmada Ekşisözlük [6] adlı Türkçe içerikli sosyal medya platformundan “Microsoft”, “Samsung” ve “Apple” firmaları hakkında konuşulan girdiler alınarak, alt konu başlıkları GAA ile bulunmuştur. Alt konu başlıklarına göre kullanıcı girdilerinin GAA ile sınıflandırma işlemi sonunda doğruluk oranı F-Score yöntemi ile hesaplanmıştır.

Literatürde anlam analizi üzerinde farklı algoritmalar kullanılarak yapılmış konu modelleme ve anlam analizi çalışmaları, ağırlıklı olarak İngilizce olmak üzere ve farklı platformlarda yoğunlaşmaktadır. Elberichi vd., Liu & Singh, AlSumait vd. çalışmalarında; WordNet ile kelimelerin sözlük anlamları üzerinden eşler oluşturma yöntemi, Latent Dirichlet Allocation (LDA) algoritması, bilgi veritabanı olan ConceptNet ile anlam analizi üzerine çalışmışlardır [7][8][9].

Merchant ve Pande, doğal dil işleme tekniklerini ve GAA algoritmasını kullanarak, uzun metinlerden kısa ve faydalı özetler çıkarmak için dava dosyaları üzerinde çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada; ceza ve hukuk mahkemeleri türünde dosyaları incelenmiş, oluşturulan model ile ROGUE-1 skoru 0,58 oranına ulaşılmıştır. Yapılan çalışma İngilizce metinler üzerinde uygulanmıştır [10].

Altszyler vd., GAA ve Word2Vec modelini TASA derlemi (korpusu), DreamBank derlemi ve UkWaC derlemi içerisinden oluşturulan küçük dokümanlar üzerinde karşılaştırmışlardır. GAA ile küçük veri setlerinde daha iyi sonuçlar elde edildiğini göstermişlerdir. Kelime sayısı 106’dan fazla olduğunda Word2Vec modelinin benzerlik bulma konusunda daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir [11].

Hatipoğlu ve Omurca, Türkçe’nin yapısal özelliklerine göre istatistiksel olarak puanlandırılması ve gizli anlam analizi yöntemlerini sezgisel olarak birleştirerek, cümle seçimi yapan melez bir model sunmuşlardır. Gerçekleştirdikleri çalışma, metin özetleme sorunu üzerine dayanmaktadır. Özet cümlelerin seçimi, özetlenecek metinlerin Türkçe’nin dil özelliklerine dayalı istatistiksel puanlandırılması ve anlamsal puanlandırılması yöntemlerinin melez şekilde değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Özetlenecek metinlerde yer alan cümlelerin özet cümle adaylığı için aldıkları puanlar, yapısal ve anlamsal özelliklerin sezgisel bir ağırlıklandırma yöntemi ile birleştirilmesi ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında veri ön işleme, yapısal olarak istatistiksel puanlandırma, GAA analiz ve melez cümle seçimi aşamaları Türkçe yazılmış metinler üzerinde başarıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için özetleme sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem ve farklı kullanıcılara, aynı metinler verilmiş ve kullanıcıların önerileri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda “Güneş Sistemi” metninin özeti ile kullanıcıların bu metinden seçtiği cümleler %77.5, “Charles Bukowski” metninin özeti ile kullanıcıların bu metinden seçtiği cümleler % 82 oranında eşleşmiştir [12].

Kherwa ve Bansal, TDA tabanlı GAA üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çeşitli doğal dil işleme uygulamalarının araştırma makalelerinden oluşan bir veri setinde, terimlerin birbirleri ile ilişkilerini bulmak için GAA yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonunda GAA’nın TDA ile aynı anlamlı birden fazla terimi azalttığını, birden çok anlamı olan terimleri tanımlayabileceğini ve düşük boyutlu kavramsal alandaki belgeleri temsil ettiğini göstermektedir [13].

Yıldıztepe ve Uzun yaptıkları çalışmada, olasılıksal gizli anlam analizi ve gizli Dirichlet ataması yöntemleri üzerine çalışmışlardır. Farklı haber ajanslarında bulunan Türkçe haber metinlerinin anlamsal benzerliklerine göre kümeleme uygulaması oluşturulmuş ve uygulamadan elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre iki yöntemle de aynı konudan bahseden haber metinleri başarılı bir şekilde sınıflandırılmış ve anlamsal olarak yakın haberler belirlenmiştir [14].

Ünalı ve Kırkgöz yaptıkları çalışmada, anadili İngilizce olan üniversite öğrencileri ile anadili Türkçe olan üniversite öğrencileri tarafından oluşturulan metinleri GAA algoritması kullanarak karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmanın yapılabilmesi için anadili Türkçe olan öğrencilerin, İngilizce olarak yazdığı metinlerden bir derlem oluşturulmuş ve bu derlem anadili İngilizce olan üniversite öğrencileri tarafından yazılmış metinleri içeren başka bir derleme karşılaştırılmıştır. Tümce, paragraf ve metin geneli olmak üzere 3 farklı terim kullanılmıştır [15].

Yapılan çalışmanın, Ekşisözlük platformu üzerinde kullanıcılar tarafından yapılan girdiler üzerinde 3 farklı konudaki alt başlıkları bulması, Türkçe dilinde olması, kullanıcı girdilerinde herhangi bir boyut kısıtlaması olmamasından dolayı literatürde yapılan çalışmalara göre farklılık göstermektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde GAA, TDA yöntemleri ve kullanımları, veri setinin hazırlanması, veri seti üzerinde doğal dil işleme aşamaları ve kelime vektörlerinin çıkarılması işlemleri anlatılmıştır.

2.1. Gizli Anlam Analizi

Konu modelleme; verilen dokümanlardan alt konuları otomatik olarak bulmak için kullanılan bir istatistiksel makine öğrenmesidir. Bu yöntemle alt konuların önemli özellikleri ve her bir dokümanın hangi alt konuya ait olduğunu bulunabilir. Verilen belgedeki anahtar sözcük grubunu bulmak için kullanılan, denetimsiz öğrenen bir metin analizidir. İşlem sonucu ortaya çıkan kelime grubu (özellikler), alt konuyu temsil etmektedir. Denetimsiz bir öğrenme şekli olduğu için, bulunan konuların bir uzman tarafından değerlendirilmesi gerekebilir. Ayrıca çoğu zaman kaç farklı alt konunun bulunacağı, önceden bilinmesi gerekmektedir.

Konu modellemede kullanılan başlıca modellerden birisi de Gizli Anlam Analizidir. GAA; anlaşılması ve uygulanması kolay olan bir yöntemdir. Diğer metotlara göre daha hızlıdır. Çünkü sadece doküman terim matrislerine göre işlem yapmaktadır.

Gizli Anlam Analizi için bir doküman-terim matrisine ihtiyaç vardır. Bu matrisin değerleri genel olarak Terim (Kelime) Sıklığı - Ters Doküman Sıklığı (TF-IDF) ağırlıkları ile oluşturulur. TF-IDF, her bir dokümanın içinde yer alan kelimelere birer ağırlık oluşturur. Bu ağırlıklar, kelimelerin o doküman için ne kadar sık geçtiğine ve o kelimenin diğer dokümanlarda ne kadar geçip geçmediğine bakılarak hesaplanır. Bunun için önce Terim Sıklığı (TF) hesaplanır. Bu işlem her bir kelimenin bir doküman içinde kaç kere geçtiğini hesaplar. Daha sonra Ters Doküman Sıklığı (IDF) aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$IDF(t) = \log\left(\frac{N}{|\{d \in D: t \in d\}|}\right) \quad (1)$$

t terim (kelime), N doküman sayısı, D tüm doküman seti, d tek bir dokümanı temsil eder. $|\{d \in D: t \in d\}|$ ifadesi t teriminin, tüm dokümanlarda, kaçının içinde yer aldığını bulur. Eğer bir terim, çok sayıda dokümanda geçiyorsa, payda büyüyecek ve logaritmik ölçekte IDF değeri küçülecektir. Ya da bir kelime az sayıda dokümanda geçiyorsa, o kelime ilgili doküman için ayırt edici ve önemli bir kelime olur. IDF tüm kelimelerin doküman zıtlığıdır. Son olarak, TF ve IDF ağırlıkları çarpılarak, TF-IDF ağırlıkları bulunup TF-IDF matrisi oluşturulur. Doküman Sıklığı ve Ters doküman sıklığı özelliklerinin çarpımıyla elde edilen TF-IDF matrisinin her bir satırı bir dokümanı, her bir sütunu ise kelimeleri temsil eder.

TF-IDF matrisinden yararlanılarak, Tekil Değer Ayrıştırma (Singular Value Decomposition) ile işlemi yapılabilir. Bu ayrıştırma işlemi ile satırlardaki dokümanlar ve sütunlardaki kelimelerin gruplandırılması hedeflenir. Bu gruplandırma işlemi yapılırken TDA'nın aşağıdaki formülü ile elde edilen matrisler yorumlanır:

$$A = U\Sigma V^T \quad (2)$$

A TF-IDF ağırlıklarının olduğu $m \times n$ boyutundaki orijinal matristir. m doküman sayısı, n ise tüm dokümanlardan elde edilen sözcük sayısıdır. U , $m \times m$ boyutunda dik açılı (ortogonal) sol tekil değer matrisidir. Bu matriste dokümanlar ile ilgili ağırlıklar yer almaktadır. Σ matrisi $m \times n$ boyutunda köşegen bir matristir. Köşegende A matrisinin özdeğerleri (eigen values) büyükten küçüğe doğru yer alır. V^T ise $n \times n$ boyutunda dik açılı sağ tekil değer matrisidir. Bu matriste de terimler ile ilgili ağırlıklar yer alacaktır.

Σ matrisinin köşegeninde $\sigma_{11} > \sigma_{22} > \dots > \sigma_{mm}$ değerleri yer almaktadır. Belirlenecek bir k sayısı ile bu köşegenin ilk k değeri alınır. Bu değer, kaç farklı konu gösterilmek istendiğidir. Eğer k değerinin ne olacağı bilinmiyorsa, sıralı özdeğerler arasındaki en büyük boşluğa sahip yer k olarak seçilir. Σ matrisinin yeni boyutu $k \times k$ olacaktır. Dolayısıyla U matrisinin ilk k sütununu $m \times k$ ve V^T matrisinin ilk k satırını $k \times n$ seçilmesi gerekir. Bu üç matrisin çarpımı orijinal A matrisine yakınsayacaktır.

Şimdi, U matrisinin ilk sütunu, ilk konunun doküman ağırlıklarını vermektedir. Yani, ilk sütundaki en yüksek değerler, ilk konunun ağırlığı en yüksek dokümanı olacaktır. Aynı şekilde V matrisinin ilk sütunundaki değerler, ilk konunun terim ağırlıklarını gösterecektir. Ağırlıkları yüksek olan kelimeler, o konunun açıklayıcı kelimeleri olacaktır. Bu işleme k . konuya kadar devam edilir. TDA yapıldıktan sonra U ve V matrislerinde negatif değerler yer alacaktır. Ancak A matrisi tamamen pozitif değerlerden oluşmaktadır. U , Σ ve V^T matrislerinin çarpımı A 'yı vereceği için ve Σ 'da negatif değer yer almadığı için U 'da negatif bir değer varsa, V^T 'de negatif olmak zorundadır. Dolayısıyla negatif değerlerde olsa bile, mutlak değerlerinin alınması sonucu pozitif dönüşmesi U ve V^T analizi için göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada Python dilinde “gensim” kütüphanesinde bulunan “Lsimodel” modülü kullanılmıştır [16].

2.2. Veri Setinin Hazırlanması

Bu bölümde veri setinin hazırlanması ve veri seti üzerinde yapılan işlemler anlatılmıştır. EkşiSözlük (EksiSozluk), her türlü konu ve kavram hakkında, kayıtlı yazarların yorumlarını içeren katılımcı sözlük tarzında bir platform ağ olup, web sitesi Türkiye'deki katılımcı sözlükler arasında en fazla tanımlama (girdi/entry) yapılan sitedir. Kayıtlı yazarlar tarafından yapılan girdiler, paylaşılan bilgiler, yöneticiler ve “gammaz” adı verilen gönüllü kullanıcılar tarafından denetlenmekte uygun olmayanlar silinmektedir. Platformda kayıtlı olan tüm yazarlar gammaz özelliğine sahiptir. Yazar alımı sürekli yapılmamaktadır. Kısa süreli başvurular ile yazar alınmaktadır. Her yazar alınma dönemine “nesil” denilmektedir [17].

Bu çalışmada, Ekşisözlük platformunda kullanıcıların Apple, Samsung ve Microsoft firmaları için yaptığı girdiler incelenmiş, ilgili alanda yer alan girdiler analiz edilerek, kullanıcıların bu firmalar üzerinde en çok hangi konu hakkında konuştukları belirlenmiştir. Kullanılan veri setinin özellikleri şunlardır:

- Ekşisözlük platformunda kullanıcıların Apple, Samsung ve Microsoft firmaları üzerine yaptığı yorumlar yer almaktadır.
- Platformda yapılan yorumlar Türkçe olarak paylaşılmıştır.
- Çalışmada seçilen konu kapsamı özel bir alan olduğu için, konu ile alakasız paylaşım sayısı azdır.
- Literatürde Twitter vb. sosyal platformlar üzerine yapılan çalışmalarda karşılaşılan kelimelerin kısaltılması, değiştirilmesi, emoji kullanımı gibi metin analizini zor hale getiren bir durum veri setinde gözlemlenmemiştir.
- Ekşisözlük platformunda yapılan paylaşımlarda platform kuralları gereği büyük harf olmadığından bütün girdiler küçük harftir. Veri setinde harfleri küçültme ile ilgili bu yüzden herhangi bir işlem yapılmamıştır.

Veri seti hazırlanırken Ekşisözlük platformundan toplanan veriler Apple, Samsung ve Microsoft firmaları hakkında yapılan girdilerdir [18][19][20]. Verileri platformdan almak için Python programlama dilinde request kütüphanesi ile yazılan web crawler hazırlanmıştır [21]. Hazırlanan crawler ile yapılan yorumlar ve yorumun yapılış tarihi toplanarak, veritabanında saklanmıştır. Bu konu başlıkları ile ilgili Apple firması için 357 web sayfasından toplam 3568 adet girdi, Samsung firması için 141 web sayfasından 1410 adet girdi, Microsoft firması için 100 web sayfasından 997 adet girdi bulunmaktadır. Veri setinde üç firma için farklı sayıda girdi bulunmaktadır. Modelleme esnasında sistemin doğruluk oranı, modelin aynı oranda veri ile oluşturulması adına üç firma için ilk 800 girdi veri setinde kullanılmıştır.

2.2. Veri Seti Üzerinde Doğal Dil İşleme Adımları

- Elde edilen yorumlar satırlar halinde tutulmaktadır. Satırlar bölümlere (token) ayrılmıştır. Her bir bölüm bir kelimeyi ifade etmektedir.
- Veri seti oluşturulurken bağlaçlar, zamirler gibi anlamsal değeri olmayan ve metin analizinde kullanılmayacak sözcükler elde edilen verilerden çıkarılmıştır. Türkçe dilinde en çok kullanılan yaklaşık 250 adet Türkçe durak kelimesi (stop words) listesi oluşturulmuş ve bu listedeki kelimelere veri setinden çıkarılmıştır.
- Kelimeler arka arkaya eklenmiş, kelimelerden oluşan derlem (corpus) oluşturulmuştur.

2.3. Kelime Vektörlerinin Çıkarılması

Doğal dil işleme çalışmalarında, kelimelerin semantik anlamları için önemli bir konu olan kelimelerin vektör olarak temsil edilmesi kullanılmaktadır. Kelimeler sayısal değer içeren vektörlerle eleştirilmektedir. Bu eşleşme sayesinde sistem, kullanılan kelime hakkında bilgi (sayısal değer) sahibi olmaktadır.

Bu çalışmada, doküman terimleri matrisi elde edilmiştir. Doküman terimleri matrisinde belgede bulunan tüm terimler bulunmaktadır. Doküman matrisi iki boyutlu bir matristir. İlk boyutunda terimler, diğer boyutunda ise her terimin belgede geçme sıklığını göstermektedir.

3. Araştırma Bulguları

Bu bölümde yapılan işlemlerden elde edilen deneysel sonuçlar yer almaktadır. Veri setinde bulunan her firma için 800'er adet olmak üzere toplamda 2400 adet girdi bulunmaktadır. Gerçekleştirilen veri temizleme işlemi sonucunda konu ile ilgisi olmadığı tespit edilen girdiler elenerek, Apple konu başlığında 739, Microsoft konu başlığında 732, Samsung konu başlığında ise 772 girdi kaldığı görülmüştür. Veriler ilgili firmaların Ekşisözlük'te bulunan kullanıcılar tarafından oluşturulan sayfalarından elde edildiği ve ilgili firma ile ilgili yorumlarını barındırması nedeniyle firma için etiketlenmiş olarak kabul edilmektedir. Etiketlenmiş olarak bulunan veriler ile GAA yöntemi ile üç başlığa ayrılan konu başlıkları karşılaştırılmıştır. Ekşisözlük kullanıcılarının girdilerinden oluşan veri setinin özellikleri Tablo-1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Kullanılan Veri Seti

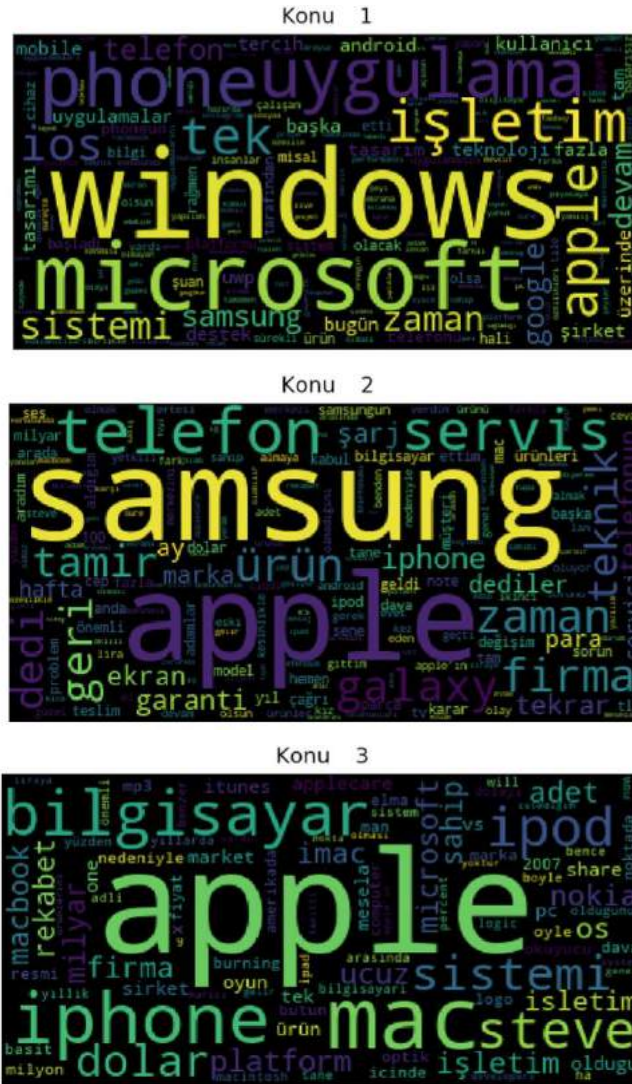
Adı	Toplam Örnek Sayısı	Alınma Tarihi	Konu
Ekşisözlük	2400	17.06.2019	Apple, Samsung, Microsoft

Veri setinde her bir konu için örnek girdiler Tablo-2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Konuların Örnek Girdileri

Konu	Girdi
Apple	steven wozniak ve steven jobs'un yarattıkları ve 1976'da apple computer'i kurdulari bilgisayar devi, diger rakip firmalar hala ipod'un karizmasına ulasamadi ve powerbook g'sin gucune yetisemediler. adamlar ustalar hoca, onlar yapsin biz alalim.
Samsung	şimdiye kadar cep telefonunda vazgeçmediğim marka fakat fotoğraf çekmek için yan tarafa tuş koymamakta ısrar ederse her türlü vazgeçeceğim marka. varsa takip eden yetkili ağızlar, bilginiz olsun bir kullanıcı olarak rahatsız ve sadece ben değilim bu konuda şikayetçi olan.
Microsoft	1995'te yazılım dünyasında bir devrim yapmış, beta testini yaptırdığı 'u parayla satmış biri. yazılım dünyasının "daha iyisini yapamıyorsan satın al" devi.

Yapılan çalışma sonucu elde edilen konular, GAA yöntemi kullanılarak, belirlenen konu Şekil-1'de etiket bulutu olarak gösterilmektedir. Veritabanında bulunan kullanıcı girdileri içerisinde başlıca bahsedilen 3 adet konu belirlenmiştir. Belirlenen konu başlıkları incelendiğinde kullanıcıların ilgili başlık olan Microsoft, Samsung ve Apple firmaları hakkında konuştukları gözlemlenmektedir. Konu1'de öne çıkan kelimeler Microsoft, Windows, işletim, sistemi gibi konu geneli ile ilgili kelimelerdir. Konu2'de Samsung, telefon, Galaxy, servis gibi konu ile ilgili fakat Apple kelimesi firma farklı olsa da ağırlıklı olarak firma ile ilgili olan kelimelerden dolayı konu başlığı ile uyumaktadır. Konu3'de öne çıkan kelimeler Apple, Iphone, Mac, Dolar, Ipod, bilgisayar kelimeleri Apple firması ile ilgili konuya karşılık gelmektedir.



Şekil-1 GAA Yöntemi ile Elde Edilen Konular

GAA yöntemi kullanılarak elde edilen sınıflandırmanın başarımlarını değerlendirmesi için gerçek ve tahmin edilen sınıfı içeren karışıklık matrisi kullanılmıştır. Üç sınıftan oluşan bir sınıflandırma örneği için karışıklık matrisi örneği Tablo-3’de gösterilmektedir.

Tablo-3 Üç Sınıflı Eğitim İçin Karışıklık Matrisi

Tahmin Edilen	Gerçek Değer			
	1	2	3	Toplam
1	D11	Y12	Y13	TT1
2	Y21	D22	Y23	TT2
3	Y31	Y32	D33	TT3
Toplam	GT1	GT2	GT3	

Karışıklık matrisi yardımıyla F1 ölçütü, kesinlik hassasiyet değerleri ile başarımların hesabı yapılmıştır. Kesinlik getirilen bilgideki doğru sonuçların, getirilen bilginin tamamına oranı olarak hesaplanır. Hassasiyet ise getirilen doğru sonuçların, getirilmesi gereken doğru sonuçlara oranı ile hesaplanır. Kesinlik ve hassasiyet değerlerinin hesaplanma şekilleri aşağıda gösterilmektedir:

$$Kesinlik = \frac{\text{ilgili veri getirimi} \cap \text{bütün veri çıkarımı}}{\text{bütün veri çıkarımı}} \quad (3)$$

$$Hassasiyet = \frac{\text{ilgili veri getirimi} \cap \text{bütün veri çıkarımı}}{\text{ilgili veri çıkarımı}} \quad (4)$$

F1 ölçütü bu değerlerin harmonik ortalamasıdır:

$$F1 = \frac{2 * Kesinlik * Hassasiyet}{Kesinlik + Hassasiyet} \quad (5)$$

F-Score değeri 0 ile 1 arasındadır. 1’e yaklaştığı zaman doğruluk oranının artmaktadır. 0’a yaklaştıkça kurulan modelin doğruluk oranı azalmaktadır.

Yapılan analizdeki tüm doğru sayısı 1674, bütün sınıflandırılan veri sayısı 2243’tür. Toplam doğruluk değeri 0.74 olarak hesaplanmıştır.

Tablo-4’de veri kümesinin GAA yöntemi ile sınıflandırma sonuçlarına göre oluşan karışıklık matrisi verilmiştir.

- Tablo-4’den Samsung firmasına yapılan girdilerin, GAA yöntemiyle en fazla oranda doğru sınıflandırıldığı görülmektedir. Bununla beraber Samsung ile yapılan yorumların kesinliği diğer iki konudan düşüktür. Tip 1 hatanın (Yanlış sınıflandırma) en fazla olduğu konu Samsung’dur. Başka bir deyişle, sistem Samsung ile ilgili yazılan girdileri yüksek bir doğrulukla bulabilirken, yine Samsung olarak etiketlediği girdilerin büyük bir kısmını yanlış olarak da etiketlemektedir.
- Kesinlik değeri en yüksek olan Apple firması ile ilgili bilgilerin en düşük doğruluk ile bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte Apple, Tip 2 hatanın (ilgili girdileri kaçırmaması) en çok görüldüğü başlıktır. Sistemin Apple diye etiketlediği verilerin %85’e yakın oranda doğru bulunduğu, ancak tüm Apple girdilerinin sadece %54’ünü yakalayabildiğini söyleyebiliriz.

Her bir konunun F1 skorlarına bakıldığında Microsoft 0.79; Samsung 0.78 ve Apple 0.66 olarak görülmektedir.

Tablo-4 Sınıflandırma Karışıklık Matrisi

Tahmin Edilen	Gerçek Değer			
	Microsoft	Samsung	Apple	Toplam
Microsoft	607	75	113	795
Samsung	80	669	228	977
Apple	45	28	398	471
Toplam	732	772	739	2243

4. Sonuç

Bu çalışmada, bir doğal dil işleme uygulaması olan konu belirleme problemi üzerinde çalışılmıştır. Ekşisözlük platformundan elde edilen kullanıcı girdileri üzerinde veri temizleme ve diğer veri ön işleme adımları sonucunda, terim doküman matrisinin oluşturulması ve gizli anlam analizi işlemleri yapılarak, konu belirleme işlemi kullanıcılar tarafından Türkçe olarak yapılan girdiler üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen konu başlıkları ile veri toplama esnasında sınıflandırılmış olan başlıklar karşılaştırılmıştır. Modelin başarımlarını değerlendirmesi için F1 değeri hesaplanmıştır. Çalışma sonucu belirlenen konu başlıkları, kurulan modelin sonucundan da görüldüğü gibi, çalışılan başlık ile uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Belirlenen üç konu başlığı içerisinde öne çıkanlar incelendiğinde, başlıkların konu başlıkları ile doğrudan ilintili olduğu görülmüştür. Ayrıca denetimsiz olarak öğrenen GAA, belirli amaçlarda görece başarılı istatistiksel sonuçlarla çalışmaktadır.

Çalışmanın Türkçe dilinde ve Türkçe bir platform üzerinde toplanan veriler ile yapılması konun özgün değerini ortaya koymaktadır. Çalışmanın bir başka özgün boyutu da Ekşisözlük platformunda kullanıcıların yaptıkları girdilerde paylaşımlarını diledikleri uzunlukta yapabildikleri için, kullanıcı girdilerinin boyutları sınırlandırılmamış olmasıdır.

Çalışmanın devamında, farklı konu belirleme algoritmaları ile yapılacak analizler karşılaştırılarak, aradaki farklılıklar incelenebilir. Ayrıca, derin öğrenme algoritmaları ile GAA başarımları karşılaştırılması hedeflenmektedir.

Kaynakça

- [1] Aggarwal, CC., Zhai, C., “An Introduction to Text Mining” In: Aggarwal CC, Zhai C, editors. Mining text data, New York: Springer, p. 1-10, 2012.
- [2] Deerwester, S., Dumais, S. T., Furnas, G. W., Landauer, T. K., and Harshman, R., “Indexing by Latent Semantic Analysis”. Journal of the American Society for Information Science, 41(6):391–407, 1990.
- [3] Harris, Z., “Distributional Structure”, Word, 23(10), 146–162, 1954.
- [4] Landauer, T. K., Dumais, S. T., “A Solution to Plato’s Problem: The Latent Semantic Analysis Theory of Acquisition, Induction, and Representation of Knowledge”, Psychological Review, 104(2), 211–240, 1997.
- [5] X., Cai, Z., Wiemer-Hastings, P., Graesser, A., McNamara, D., Strengths, “Limitations, and Extensions of LSA”. Handbook of Latent Semantic Analysis, 401–426, 2007.
- [6] Ekşi Sözlük, 1999. <https://eksisozluk.com/>
- [7] Elberrichi, Z. Rahmoun, A. and Bentaallah, M. A., “Using WordNet for Text Categorization”, The International Arab Journal of Information Technology, s. 16- 24, 2008.
- [8] Liu, H. and Singh, P., “ConceptNet-A Practical Commonsense Reasoning ToolKit”, BT Technology Journal, s. 211-226, 2004.
- [9] AlSumait, L. Barbará, D. Gentle, J. and Domeniconi, C., Topic Significance Ranking of LDA Generative Models, Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases, s. 67-82, 2009.
- [10] Merchant, K., Pande, Y., 2018. “NLP Based Latent Semantic Analysis for Legal Text Summarization”, International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2018.
- [11] Altszyler, E., Sigman, M., Ribeiro, S., D. F. Slezak, D. F., “Comparative Study of LSA vs Word2vec Embeddings in Small Corpora: A Case Study in Dreams Database”, arXiv: 1610.01520, 2016.
- [12] Hatipoğlu, A., Omurca, S., “Türkçe Metin Özetlemede Melez Modelleme”. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 17: 95-108, 2015.
- [13] Kherwa, P., Bansal, P., “Latent Semantic Analysis: An Approach to Understand Semantic of Text”, International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (ICCTCEEC-2017): 870-874, 2017.
- [14] Yıldıztepe, E, Uzun, V., “Olasılıksal Yöntemler ile Türkçe Metinlerin Anlamsal Benzerliğinin Belirlenmesi”. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3 (2), 66-78, 2018.
- [15] Ünalı, İ., Kırıköz, Y., “Latent Semantic Analysis: An Analytical Tool for Second Language Writing Assessment”. Mustafa Kemal University Journal of Social Sciences Institute, Volume: 8, Issue: 16, s. 487-498, 2011.
- [16] Gensim, 2009. <http://radimrehurek.com/gensim/models/lsimodel.html>
- [17] Wikipedia, 2001. https://tr.wikipedia.org/wiki/Ekşi_Sözlük
- [18] EkşiSözlük Apple, 1999. <https://eksisozluk.com/apple--55201>
- [19] EkşiSözlük Samsung, 1999. <https://eksisozluk.com/samsung--90291>
- [20] EkşiSözlük Microsoft, 1999. <https://eksisozluk.com/microsoft--31834>
- [21] Python Request, 2001. <https://pypi.org/project/requests/>



Taze Marul Örneklerinde *Escherichia coli* O157 ve *Listeria monocytogenes* Varlığının Belirlenmesi

Recep Kara^{1*}, Ulaş Acaröz², Zeki Gürler³, Ali Soylu⁴, Osman Küçük Kurt⁵

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9257-7506)

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1533-4519)

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9037-2945)

⁴ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3881-9420)

⁵ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4670-659X)

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 25 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.573247)

ATIF/REFERENCE: Kara, R., Acaröz, U., Gürler, Z., Soylu, A., Küçük Kurt O. (2019). Taze Marul Örneklerinde *Escherichia coli* O157 ve *Listeria monocytogenes* Varlığının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 870-873.

Öz

Taze salatalar ve salata yapımında kullanılan sebzeler, çiğ tüketildiği için patojen bakteriler ile kontamine olması durumunda insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturabilmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmada, Afyonkarahisar ilinde tüketime sunulan taze marul örneklerinin mikrobiyolojik kalitesi incelendi. Çalışma kapsamında, market ve pazarlardan toplanan 70 adet taze marul örneği *Escherichia coli* O157 ve *Listeria monocytogenes* varlığı yönünden analize alındı. *E. coli* O157 ve *L. monocytogenes* analizleri sırasıyla ISO 16654 ve ISO 11290-1'e göre gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda, 70 adet taze marul örneğinin 2 (%2,86)'sinde *E. coli* O157 ve bir (%1,43) tane taze marul örneğinde ise *L. monocytogenes*, tespit edildi. Sonuç olarak, incelenen marul örneklerinin patojen bakterileri içerdiği ve mikrobiyolojik kalitesinin düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem olmadan tüketilen sebzelerde *E. coli* O157 ve *L. monocytogenes* gibi patojen bakterilerin bulunması sağlık açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, mikrobiyolojik kaliteyi artırmak için etkili kontrol önlemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Marul, Salata, *Escherichia coli* O157, *Listeria monocytogenes*.

Determination of the Presence of *Escherichia coli* O157 and *Listeria monocytogenes* in Fresh Lettuce Samples

Abstract

Fresh salads and vegetables used for salad making may induce serious risks for human health if they are contaminated with pathogenic bacteria since they are consumed raw. In this study, microbiological quality of fresh lettuce samples which are offered for consumption in Afyonkarahisar province was investigated. For that aim, 70 fresh lettuce samples collected from markets and bazaars and analyzed for the presence of *Escherichia coli* O157 and *Listeria monocytogenes*. The analysis of *E. coli* O157 and *L. monocytogenes* was performed according to ISO 16654 and ISO 11290-1, respectively. The results of the present study showed that 2 (% 2.86) of 70 fresh lettuce samples were found to be positive for *E. coli* O157 while 1 (1.43%) fresh lettuce sample was positive for *L. monocytogenes*. In conclusion, the lettuce samples were found to contain pathogenic bacteria and their microbiological quality was low. The presence of pathogenic bacteria such as *E. coli* O157 and *L. monocytogenes* in vegetables consumed without heat treatment poses a serious health risk. Therefore, effective control measures should be implemented to increase microbiological quality.

Keywords: Lettuce, Salad, *Escherichia coli* O157, *Listeria monocytogenes*.

* Sorumlu Yazar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9257-7506, recepkala@aku.edu.tr

1. Giriş

Salatalarda kullanılan sebzelerde doğal olarak bulunan mikroorganizmaların çoğu patojenik olmayan bakterilerdir. Ancak yetiştirilen sebzeler, su, toprak, hayvanlar ve hasat ekipmanlarından gelen patojenlerle kontaminasyona karşı savunmasız haldedirler. Toprakla temas eden yapraklı sebzeler *Bacillus cereus*, *Clostridium* spp. ve *Listeria monocytogenes* gibi yıkama ile bile hayatta kalabilen gram-pozitif bakterileri barındırabilmektedirler (Brackett ve Splittstoesser, 2001; Allende ve ark., 2006; De Oliveira, 2011). Bunun yanı sıra yeni hasat edilen sebzelerin yüzeyinde ağırlıklı olarak gram-negatif saprofitler ile (Fröder ve ark., 2007) *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*, enteropatojenik *Escherichia coli* gibi bazı patojenler de bulunabilmektedir (Alzamora ve ark., 2000; Brackett ve ark., 2001). Hasat sonrasında ise, kontaminasyon nakliye ve ürünün işlenmesi sırasında oluşabilmektedir (Franz ve ark., 2010). Bugüne kadar, sebzelerin insan için patojenik bakteriler tarafından kirlenmesinin çoğunun hasat sonrası kullanım sırasında ortaya çıktığı düşünülmektedir (Warriner ve ark., 2003). Patojen bakteriler, salata yapımı esnasında kontamine sebzeler ile kolayca sebze salatalarına aktarılabilir ve tüketiciler için sağlık açısından tehlike oluşturabilir (Lin ve ark., 1996). Sebzelerde patojen varlığını engellemek ve hijyenik kaliteyi arttırmak için farklı uygulamalar yapılmaktadır. Özellikle yapılan bazı çalışmalarda farklı bitkilere ait hidrosol uygulamalarının taze marullarda mikrobiyolojik güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılabileceği bildirilmektedir (Tornuk ve ark., 2011; Oztürk ve ark., 2016)

Escherichia coli O157 ve *Listeria monocytogenes*, en çok bilinen ve üzerinde araştırma yapılan gıda kaynaklı patojenlerdir. *E. coli* O157, gıda kaynaklı hastalıkların önemli bir etkeni olarak kabul edilmektedir. Hastalık tablosu genellikle şiddetli ve ağır olup, hemorajik kolit, hemolitik üremik sendrom ve trombotik trombositopenik purpura olmak üzere üç farklı klinik tablo ile insan sağlığını etkilemektedir (Michael, 1991). Gram-pozitif bir bakteri olan *L. monocytogenes*, gıda kaynaklı hastalık salgınlarında rol oynayan, hücre içi bir patojendir. Yüksek mortalite oranına sahip olmakla birlikte hamile bayanlarda düşük, yenidoğan ölümü, septisemi ve menenjit gibi önemli sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Farber ve Peterkin, 1991). Her ne kadar bu bakterilerin temel kaynağı ve bulaşma yolu hayvansal ürünler yoluyla ilişkili olsa da, taze ürünlerde bu patojenler için önemli bir kontaminasyon aracı olarak kabul edilmektedir (Elizaquível ve ark., 2012). Nitekim Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi 2018 yılı içerisinde ABD’de kontamine marul tüketimine bağlı *E. coli* O157 salgınları olduğunu bildirmiş ve muhtemel kontaminasyon kaynağının da sulama suyu olabileceğini rapor etmiştir (CDC, 2018).

Bu amaçla Afyonkarahisar ilinde market ve halk pazarlarında satışa sunulan taze marul örneklerinde önemli gıda patojenleri olan *E. coli* O157 ve *L. monocytogenes* varlığı araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Yapılan çalışmada Afyonkarahisar ilinde halk pazarı ve marketlerde satışa sunulan 70 adet taze marul örneği Kasım 2018-Mart 2019 tarihleri arasında toplanmıştır. Laboratuvara getirilen taze marul örnekleri aynı gün analize alınmıştır.

2.2. *E. coli* O157 Analizi

Marul örneklerinde *E. coli* O157 analizi ISO 16654:2001’e göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre her bir marul örneğinden analiz için 25'er g marul örneği tartılarak 225 ml Tryptic Soy Broth (Merck; 1.05459, Germany) ile homojenize edildi. Homojenizasyon işlemi sonrası tüpler 41,5 °C’de 18 saat süre ile inkübasyona bırakıldı. Örnekler ön zenginleştirme işleminin ardından Dynabeads anti-*E. coli* O157 (Dynabeads anti-*E. coli* O157, Dynal, İngiltere) kullanılarak üretici firma tarafından bildirilen yöntemle IMS’ye tabi tutuldu. Bu işlemin ardından, Cefixime Tellürite Rhamnoz-McConkey (CT-RMAC; Oxoid:CM1005B) Agar’a O157 Dynabead ve bakteri kompleksinden 50 µl alınarak ekim gerçekleştirildi ve petriyeler 37°C’de 18-24 saat süre ile inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonrası şüpheli izolatlar *VITEC 2 Compact* ve anti-*E. coli* O157 serum lateks test kullanılarak *E.coli* O157 olarak kolonilerinin identifikasyonu gerçekleştirildi.

2.3. *L. monocytogenes* Analizi

Marul örneklerinde *L. monocytogenes* analizi ISO 11290-1: 1996’ya göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre her bir marul örneğinden 25'er g steril stomacher torbasına tartıldı. Daha sonra her bir örnek, 225 ml Half Fraser Broth (Oxoid, SR166) ile stomacherde 2 dk boyunca homojenize edildi. Homojenize edilen örnekler 30 °C’de 24±2 saat süre ile inkübasyona bırakıldı. 10’ar ml Fraser Broth (Oxoid, CM0895; SR156) içeren tüpler içerisine 0.1 ml homojenizattan aktararak 35±2 °C’de 48 ± 2 saat süre ile inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonucu elde edilen ön zenginleştirme kültüründen, Oxford Agar (Oxoid CM 856, SR 140) ve PALCAM Agar (Oxoid, CM0877; SR 0150) selektif besiyerlerinin yüzeylerine ekim gerçekleştirildi ve 30°C’de 24-48 saat inkübasyona bırakıldı. Benzer şekilde, Oxford Agar ve PALCAM Agar selektif besiyerlerinin yüzeylerine ikinci zenginleştirme besiyerinden tek koloni düşürme için ekim gerçekleştirildi ve 37°C’de 24-48 saat inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonrası gelişen *Listeria* şüpheli kolonilere hareketlilik testi, Gram boyama, oksidaz ve katalaz testleri yapıldı ve *VITEC 2 Compact* kullanılarak *L. monocytogenes* kolonilerinin identifikasyonu gerçekleştirildi.

3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmada, Afyonkarahisar ilindeki market ve halk pazarlarından temin edilen 70 adet taze marul örneğinde *E. coli* O157 ve *L. monocytogenes* varlığı araştırılmıştır. 70 adet taze marul örneğinde, 2 (%2,86) örnekte *E. coli* O157 ve bir (%1,43) örnekte *L. monocytogenes*, tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Taze marul örneklerinde *E. coli* O157 ve *L. monocytogenes* dağılımı.

Table 1. Prevalance of *E. coli* O157 and *L. monocytogenes* in Feresh Lettuce

Örnek tipi	Örnek Sayısı	<i>E. coli</i> O157 (%)	<i>L. monocytogenes</i> (%)
Marul	70	2 (%2,86)	1 (%1,43)

Sebzeler ya direkt ya da salata vb gıda ürünlerinde karışım olarak kullanılmakta ve herhangi bir ısıl işlem görmeden çiğ olarak tüketilmektedir. Bu nedenle sebzelerde patojen varlığı sağlık açısından ciddi riskler oluşturabilmektedir. Sebzeler ve bunlardan yapılan salatalarda patojen varlığının araştırıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ongan (2012), huzurevlerinde yaşlılara sunulan beslenme hizmetlerini değerlendirmek ve yaşlıların beslenme durumlarını saptamak amacıyla yürüttüğü bir çalışma kapsamında, dört farklı salata türünden (çoban salata, karışık salata, havuç lahanaya salata, baharatlı çoban salata) oluşan salatalarda her huzurevinden bir adet salata örneği olmak üzere 25 salata örneğini analiz için toplamıştır. Çalışma sonucunda incelenen salata örneklerinde *E. coli* O157:H7 ve *Salmonella* spp. izole edilmediğini, ancak farklı düzeylerde *E. coli*, *S. aureus*, koliform ve toplam mezofil aerob bakteri saptandığını bildirilmiştir. Balıkesir ilinde, sebze salatalarının da dahil olduğu tüketime sunulan farklı gıda örneklerinde *L. monocytogenes* ve *Salmonella* spp. varlığının araştırıldığı bir çalışmada ise, alınan 40 adet sebze salatası örneğinde 10 adet (%25) *Listeria* spp. ve 4 adet (%10) *L. monocytogenes* tespit edilmiştir (Gökmen ve ark., 2016). Yapılan başka bir çalışmada ise, Afyonkarahisar ilinin 4 farklı bölgesinden olmak üzere “caterring” firmalarından, “fast – food” satış yapan büfelerden, lokanta ve pazaryeri esnafından marul, domates, havuç, roka, maydanoz, soğan, mor lahanayı içeren 103 adet tüketime hazır salata toplanarak incelenmiştir. İncelenen 103 salata numunesinin 17’sinde (%16,50) sorbitol negatif *E. coli* O157 şüpheli izolatlar tespit edilmiştir (Aslan ve ark., 2016). Kınay ve Kaptangil (2018), gerçekleştirdikleri bir çalışma kapsamında, Sinop merkezde faaliyet gösteren yiyecek içecek işletmelerinden analize aldıkları 16 adet salatayı (yeşil ve çoban salata) mezofil aerob bakteri (TMAB), maya ve küf, koliform bakteri bakımından incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, incelenen salata örneklerine ait TMAB ile maya ve küf sayıları tüketim sınırları içinde, koliform bakteri sayıları ise farklı düzeylerde tespit edilmiştir. Elde edilen sonuca göre, genel hijyen kurallarının tam olarak uygulanmadığını ve mikrobiyolojik kalitenin düşük olduğunu bildirmişlerdir. Özpınar ve ark. (2013) İstanbul’da pazardan toplanan 180 sebze numunesini incelemişler ve çalışma sonucunda, 109 (%60,5) numunede *E. coli* tespit edilmiştir. 1’er numune olmak üzere maydanoz, marul ve havuç örneklerinde O157 serotipi tespit etmişlerdir. Yapılan bazı çalışmalarda (Özpınar ve ark., 2013; Aslan, 2015; Gökmen ve ark., 2016) sebze ve ürünlerinde patojen bakteriler tespit edilirken, diğerlerinde (Ongan, 2012) tespit edilmemiştir. Ancak patojen tespit edilmemiş olmasına rağmen bu ürünlerinde genel hijyen inkikatrörü bakterileri içerdiği ve mikrobiyolojik kalitesinin uygun olmadığı bildirilmektedir (Kınay ve Kaptangil, 2018). Ayrıca Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Tebliğinin sebzeler ile ilgili maddesine göre “yıkamış, doğrama ve paketleme işleminden geçmiş, ayrı ayrı veya karıştırılmış çiğ sebzeler ile dondurulmuş veya kurutulmuş sebzeler”de *E. coli* O157 ve *L. monocytogenes* varlığı (25 g’da) istenmemektedir (Anonim, 2011). Çiğ olarak tüketilen sebze ve salataların patojen bakteriler ile kontamine olmasında, mahsülün üretim yerinin yakınlarında hayvan çiftliklerinin olması buna bağlı olarak yetiştirme sahalarında kullanılan su kaynaklarından kirlenmesi, Üretim alanına hayvanların erişiminin olması ve bu alanlarda serbest dolaşmaları, üretim sürecinde yıkama, temizleme sularının kirli olması ile yetersiz personel ve tesis hijyeninin etkisi bulunmaktadır (Bell, 2002).

4. Sonuç

Sonuç olarak, Afyonkarahisar ilinde satışa sunulan taze marul örneklerinin mikrobiyolojik kalitesi hakkında bilgi edinmek amacı ile gerçekleştirilen yapılan çalışmada, incelenen marul örneklerinin *E. coli* O157 (%2,86) ve *L. monocytogenes* (%1,43) ile kontamine olduğu ve risk teşkil ettiği sonucuna varılmıştır. Isıl işlem görmeden çiğ olarak tüketilen bu ve benzeri gıda ürünlerinde üretimde kontamine su kullanılmaması, gerek hasat sırasında ve gerek hasat sonrasında etkili kontrol önlemlerinin uygulanması ile meydana gelebilecek kontaminasyonun önüne geçilmesi gibi önlemlerin, satışa sunulan marul örneklerinin mikrobiyolojik kalitesini arttırmada gerekli ve önemli olduğu ortaya konulmuştur.

5. Kaynaklar

- Allende, A., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2006). Minimal processing for healthy traditional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(9), 513-519.
- Alzamora, S.M., Lo’pez-Malo, A., & Tapia, M. S. (2000). Overview. In S. M. Alzamora, M. S. Tapia, and A. Lo’pez-Malo (ed.), *Minimally processed fruits and vegetables: fundamental aspects and applications*. Aspen, Gaithersburg, Md.
- Anonim, 2011. Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Tebliği, Sayı: 28157 (3. Mükerrer), 29 Aralık 2011.
- Aslan, S., Altındış, M., & Yaman, H. (2016). Sığır ve ishali insan dışkıları ile bazı gıdalarda *Escherichia coli* O157: H7 ve STX1/STX2 gen varlığının araştırılması. *Nobel Medicus Journal*, 12(3), 17-23.
- Bell, C. (2002). Approach to the control of entero-haemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC). *International Journal of Food Microbiology*, 78(3), 197-216.

- Brackett, R. E., & Splittstoesser, D.F. (2001). Fruits and vegetables, p. 515–520. In F. P. Downes and K. Ito (ed.), *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*, 4th ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- CDC, (2018). Centers for DiseaseControl and Prevention, Multistate Outbreak of *E. coli* O157:H7 Infections Linked to Romaine Lettuce (Final Update). Erişim: <https://www.cdc.gov/ecoli/2018/o157h7-04-18/index.html> (Erişim Tarihi: 10.04.2019).
- De Oliveira, M.A., De Souza, V.M., Bergamini, A.M.M., & De Martinis, E.C.P. (2011). Microbiological quality of ready-to-eat minimally processed vegetables consumed in Brazil. *Food Control*, 22(8), 1400-1403.
- Doyle, M. P. (1991). *Escherichia coli* O157: H7 and its significance in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 12(4), 289-301.
- Elizaquível, P., Sánchez, G., & Aznar, R. (2012). Quantitative detection of viable foodborne *E. coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* in fresh-cut vegetables combining propidium monoazide and real-time PCR. *Food Control*, 25(2), 704-708.
- Farber, J.M. & Peterkin, P.I. (1991). *Listeria monocytogenes*, a food-borne pathogen. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 55(3), 476-511.
- Franz, E., Tromp, S. O., Rijgersberg, H. & Van Der Fels-Klerx, H. J. (2010). Quantitative microbial risk assessment for *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in leafy green vegetables consumed at salad bars. *Journal of Food Protection*, 73(2), 274-285.
- Fröder, H., Martins, C.G., De Souza, K.L.O., Landgraf, M., Franco, B.D., & Destro, M.T. (2007). Minimally processed vegetable salads: microbial quality evaluation. *Journal of Food Protection*, 70(5), 1277-1280.
- Gokmen, M., Akkaya, L., Kara, R., & Onen, A. (2016). Prevalence of *Salmonella* spp. and *L. monocytogenes* in some ready to eat foods sold retail in Balıkesir. *Van Veterinary Journal*, 27(1), 31-36.
- International Standart Organisation, (2001). 11290-1 (1996). Microbiology of food and animal feeding stuffs—horizontal method for the detection and enumeration of *Listeria monocytogenes*—Part 1: detection method.
- International Standart Organisation, (2001). Microbiology of food and animalfeeding stuffs—Horizontal method for the detection of *Escherichia coli* 0157. ISO 16654.
- Kınay, A.G., & Kaptangil, K. (2018). Sinop İlinde Bulunan Yiyecek İçecek İşletmelerinde Gıda Hijyeninin Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma Ve Geliştirilebilecek Yönetimsel Yaklaşımlar. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 68, 242-249.
- Lin, C.M., Fernando, S.Y., & Wei, C.I. (1996). Occurrence of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Escherichia coli* and *E. coli* O157: H7 in vegetable salads. *Food Control*, 7(3), 135-140.
- Ongan, D. (2012). Huzurevlerin'de Yaşlılara Sunulan Beslenme Hizmetlerinin Değerlendirilmesi ve Yaşlıların Beslenme Durumlarının Saptanması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik Programı, Ankara.
- Özpinar, H., Turan, B., Tekiner, İ.H., Tezmen, G., Gökçe, İ., & Akıncı, Ö. (2013). Evaluation of pathogenic *Escherichia coli* occurrence in vegetable samples from district bazaars in Istanbul using real-time PCR. *Letters in Applied Microbiology*, 57(4), 362-367.
- Oztürk, I., Tornuk, F., Caliskan-Aydogan, O., Durak, M.Z., Sagdic, O. (2016). Decontamination of iceberg lettuce by some plant hydrosols, *LWT-Food Science and Technology*, 74, 48–54. DOI:10.1016/j.lwt.2016.06.067.
- Tornuk, F., Cankurt, H., Ozturk, I., Sagdic, O., Bayram, O., Yetim, H. (2011). Efficacy of various plant hydrosols as natural food sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium* on fresh cut carrots and apples. *International Journal of Food Microbiology*, 148 (1), 30-35. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.04.022.
- Warriner, K., Ibrahim, F., Dickinson, M., Wright, C. and Waites, W. M. (2003). Interaction of *Escherichia coli* with growing salad spinach plants. *Journal of Food Protection*, 66(10), 1790-1797.



Dünyanın En İyi Varış Noktası Türk Mutfağına Biyokimyasal Bakış: Bazı Geleneksel Yemekler ve B Vitamini Kompozisyonları

Büşra Yusufoglu^{*}, Kübra Özkan², Mustafa Yaman², Emine Karakuş¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9158-9732; 0000-0002-7730-3304)

²İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7268-3571; 0000-0001-9692-0204)

(İlk Geliş Tarihi 25 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 25 Ağustos 2019)

(DOI:10.31590/ejosat.596813)

ATIF/REFERENCE: Yusufoglu, B., Özkan, K., Yaman, M. & Karakuş, E. (2019). Dünyanın En İyi Varış Noktası Türk Mutfağına Biyokimyasal Bakış: Bazı Geleneksel Yemekler ve B Vitamini Kompozisyonları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 874-880.

Öz

Geleneksel Türk mutfağında mevcut olan yemeklerin porsiyon başına düşen vitamin kompozisyonlarının miktarı ve günlük alınması gereken değerler arasında bir ilişki söz konusudur. Bu çalışma da, bu ilişkiyi incelemek amacıyla bazı geleneksel yemek türleri laboratuvar ortamında hazırlanarak, HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi) cihazı aracılığıyla analiz edildi. Kullanılan analitik yöntemle, suda çözünen bazı vitaminlerin eşzamanlı tespiti yapılarak miktar tayini için spesifik, sağlam ve zaman açısından verimli olduğu gösterildi. Her bir örnek için tiamin, riboflavin, nikotinic asit, nikotinamid, piridoksin (PN), piridoksal (PL) ve piridoksamin (PM) kompozisyonları incelendi ve sonuçlar mikrogram (μg) cinsinden hassas bir şekilde ifade edildi. B vitamini kompozisyonları dokularda oluşan oksidatif hasarlara karşı güçlü bir aktiviteye sahip antioksidanlar arasındadır. Ayrıca karbohidrat ve enerji metabolizması için de önemli bir rol oynar. Bu çalışmanın temel amacı günlük hayatta tüketilen bazı geleneksel yemek türlerinin 1 porsiyonunda bulunan B vitamini değerlerini μg olarak bulmaktır. Aynı zamanda, günlük B vitamini ihtiyacının ne kadarını karşıladığını yüzde olarak sunmaktır. Analizler sonucunda en yüksek B₁ ve B₂ vitamini miktarına sahip olan besin mercimek köftesidir, değerleri sırasıyla 299.20 μg /porsiyon ve 364.32 μg /porsiyon şeklindedir. B₃ vitaminin en yüksek olduğu besin zeytinyağlı yaprak sarmadır ve değeri 1030.4 μg /porsiyon olarak bulunmuştur. Son olarak B₆ vitaminin en yüksek olduğu besin 623.0 μg /porsiyon ile Kayseri mantıda bulunmuştur. Yemeklerin 1 porsiyonlarının günlük B grubu vitamin ihtiyacımızı karşılama oranları ise sırasıyla: Kayseri mantı; B₁ %8.75, B₂ %10.3 B₃ %4.70, B₆ %47.9, lahmacun; B₁ %16.5, B₂ %7.38, B₃ %1.55, B₆ %26.5, zeytinyağlı yaprak sarma; B₁ %3.60, B₂ %7.87, B₃ %7.33, B₆ %6.86, mercimek köftesi; B₁ %24.9, B₂ %28.0, B₃ %3.44, B₆ %24.1 şeklindedir.

Anahtar Kelimeler: B vitamini kompozisyonları, geleneksel yemek türleri, HPLC

The world's best destination biochemical insight into the Turkish cuisine: Some traditional foods and B vitamins compositions

Abstract

There is a relationship between the vitamin amount of the currently serving traditional Turkish cuisine compositions and values that should be taken daily. In this study, some traditional food types were prepared in laboratory and analyzed by means of HPLC (High Performance Liquid Chromatography) so as to examine this relationship. By analytical method used, some water-soluble vitamins simultaneous identification by doing, specific for amount of quantification, robust and efficient in terms of time was shown. For each sample, composition of thiamine, riboflavin, nicotinic acid, nicotinamide, pyridoxine (PN), pyridoxal (PL) and pyridoxamine (PM) was analyzed and results were expressed as a micrograms (μg), sensitively. Vitamin B compositions are among the antioxidants that have a strong activity against oxidative damage to tissues. Furthermore, it also plays an important role in carbohydrate and energy metabolism.

The main purpose of this paper, find the values of some types of traditional foods consumed in daily life in order to find as a microgram of B vitamins in 1 portion. At the same time, to provide the daily vitamin B requirements as percentage. As a result of analyzes, mercimek köftesi has the highest B₁ and B₂ amounts were 299.20 μg /portion and 364.32 μg /portion respectively. The highest vitamin B₃ containing meal is zeytinyağlı yaprak sarma with 1030.4 μg /portion and lastly the highest vitamin B₆ containing meal is found in Kayseri mantı with 623.0 μg /portion. The ratios of 1 portion of meals to cover our daily vitamin B requirements are

*Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID:0000-0002-9158 9732, yusufoglubusra@gmail.com

as follows: Kayseri mantı; B₁ 8.75%, B₂ 10.3% B₃ 4.70%, B₆ 47.9%, lahmacun; B₁ 16.5%, B₂ 7.38%, B₃ 1.55%, B₆ 26.5%, zeytinyağlı yaprak sarma; B₁ 3.60%, B₂ 7.87%, B₃ 7.33%, B₆ 6.86% and mercimek köftesi; B₁ 24.9%, B₂ 28.0%, B₃ 3.44%, B₆ 24.1%.

Keywords: Compositions of vitamin B, traditional types of meals, HPLC

1. Giriş

Bir toplumun yeme içme alışkanlıklarını, yaşadığı yörenin coğrafik, tarımsal ve sosyo-kültürel özelliklerinin yanı sıra başka toplumlarla olan etkileşimi de belirler. Günümüz Türk mutfağının şekillenmesinde ve zenginleşmesinde, Türkiye’de yaşamış olan uygarlıkların etkisi büyüktür. Bu açıdan, Türk mutfak kültürünün yapısı Orta Asya Türk mutfağı, Selçuklu mutfağı, Osmanlı mutfağı ve son olarak da Cumhuriyet Dönemi mutfağının zenginliklerinden etkilenmiştir (Kızıldemir, Öztürk ve Sarıışık, 2014). Geleneksel Türk mutfağını incelediğimizde et, tahıl, bakliyat, yaş veya kurutulmuş sebze ve meyveler, süt ve süt ürünlerinden oluştuğu görülmektedir (Ertaş ve Gezmen, 2013).

Vitaminler; yağda ve suda eriyen vitaminler olmak üzere 2 gruba ayrılır. Suda eriyen vitaminler; B₁, B₂, B₃, B₆, B₁₂, folik asit pantotenik asit, biotin ve askorbik asit vitaminidir (Güngör, 2003). B₁ vitamininin, besinlerle vücuda alınan besin öğelerinin enerjiye çevrilmesinde ve karbonhidratlardan enerji elde edilmesi sırasında önemli bir işlevi vardır (Samur, 2008). Karbonhidrat metabolizmasında önemli göreve sahip olduğu için, tüketime bağlı olarak gereksinim artar. Bunun sebebi, karbonhidratların parçalanmasında, glikozun farklı basamaklar üzerinden pirüvata dönüşümüdür. B₁ (tiamin) vitamini, glikojenin pirüvata çevrilmesi ve asetilkoenzim A’nın çalışmasında önemli rol oynar. Yetişkin bir insanın günlük tiamin ihtiyacı 1-2 mg/gün’dür. Tiamin, tahıl ürünlerinin dış tabakalarında oldukça fazla bulunmaktadır. Tiamin eksikliği karbonhidrat metabolizmasında bozulmalara sebep olur ve bunun sonucunda kas ve sinir sisteminde hastalıklar gözlenir (Demirci, 2014).

Biyokimyasal olarak metabolizmaya etkisi incelendiğinde, B₂ (riboflavin) vitamini, doğada aktif olarak flavin mono nükleotid (FMN) ve flavin adenin dinükleotid (FAD) formlarında bulunur. Bu iki form beslenme açısından aynı aktiviteyi gösterirler ayrıca yükseltgenme ve indirgenme süreçlerini katalizleyen birçok enzim için koenzim olmalarına ek olarak hidrojen taşınmasında görev almaktadırlar. Gıdalarda ve sindirim sisteminde bulunan fosfataz enzimlerinin aktivitesi sonucunda FMN ve FAD riboflavin formuna dönüşmektedir (Boyacı, 2008). Yetişkinler için önerilen ortalama doz 3 mg/gün’ dür (Tayar, Korkmaz ve Özkeleş, 2013).

B vitamin kompozisyonları içerisinde bulunan bir diğer formda B₃ (Niasin) vitaminidir. Bu form, laktat dehidrogenaz (LDH) ve malat-dehidrogenazın koenzimi olan nikotinamid adenin dinükleotid (NAD) ve nikotinamid adenin dinükleotid fosfat (NADP) sentezinde işlev görür. Ayrıca, solunum için gerekli olan enzimlerin aktive ederek hücrelerin oksijeni kullanmasını sağlar. Nikotinik asit, besinlerde bulunan triptofan yoluyla vücutta sentez edilebilir. Beslenme ile alınan 60 mg triptofandan 1 mg nikotinik asit sentez edilir (Barut, 2016).

Biyokimyasal olarak B₆ vitamininin, en etkili formu piridoksal fosfattır (Bingöl, 1977). Bu vitaminde organizmada piridoksal fosfata dönüşen 3 etkili bileşik tanınmaktadır. Bunlar; piridoksal, piridoksin ve piridoksamin adlı 3 yapıdır. Piridoksin bitkilerde piridoksal ve piridoksamin hayvansal gıdalarda bulunur. B₆ vitamini, protein metabolizmasının ana koenzimi olan piridoksal fosfatın (PLP) biyosentezinde çıkış maddesidir. Piridoksin fosfat olarak, metabolizmada amino gruplarını taşıma özelliği olduğundan dolayı transaminazların koenzimi olarak görev yapar. Ayrıca yardımcı enzimleri, yağ ve karbonhidrat metabolizmasında da bazı reaksiyonların yürütülmesine yardımcı olur (Demirci, 2014). Piridoksal fosfat; tirozin, arginin, glutamik asit ve diğer bazı amino asitlerin dekarboksilasyonunda görevli enzimlerin prostetik grubunu oluşturur. Piridoksal fosfat ayrıca serin ve treoninin aminasyonunda koenzim olarak görev yapar. Piridoksal fosfatın diğer bir önemli rolü de transaminasyon sırasında görülür. Piridoksalın hücre zarlarından amino asitlerin aktif transportasyonunu kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Ayrıca piridoksal fosfat transsülfirasyon, sistein ve homosisteinin desülfirasyonunda da rol oynamaktadır (Bingöl, 1977). B₆ vitamini çoğunlukla protein metabolizması ile ilgili olduğundan, diyetdeki protein miktarının artışına paralel olarak B₆’ya ihtiyaç vardır. Yetişkinler için 1 g protein üzerinden 0.016 mg önerilmektedir (Demirci, 2014).

Yaşam tarzı, sigara kullanımı ve özellikle de alkol tüketimi vitamin biyoyararlılığı üzerinde bazı etkilere sahiptir. Aşırı kronik alkol alımı, yetersiz beslenme, malabsorpsiyon ve etanol toksisitesine bağlı olarak vitamin eksikliği (özellikle folat, tiamin ve B₆ vitamini) gözlenebilir. Alkol gibi kahve tüketimi de plazma homosistein seviyesini arttırır ancak vitamin emilimi veya kullanımı üzerinde bir etkisi olmadığı belirtilmiştir. Bunun dışında B₆ plazma seviyelerinde egzersize bağlı değişiklikler olabilir ancak vitamin emilimini etkilemediği belirtilmiştir. Ayrıca vitaminlerin biyoyararlılığı, bazı sebzelerden (özellikle çığ) veya yüksek lifli yiyeceklerden vitaminlerin yetersiz salınması nedeniyle azalabilir (Van den Berg vd., 2002).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’ye özgü olan bazı yemek türlerinin içerdiği B₁, B₂, B₃ ve B₆ vitamin kompozisyonlarının günlük enerji ihtiyacının ne kadarını karşıladığını ortaya koyarak, sonuçları enerji ve karbohidrat metabolizması açısından değerlendirmektir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ayrı ayrı her bir yemek türü için farklı analiz metodları modifiye edildi (Esteve, vd., 2001; Ndaw, vd., 2002; Sampson 1995). Bu çalışmada analiz edilen 4 çeşit yemek için tüm hammaddeler İstanbul’da bulunan yerel marketlerden satın alınarak laboratuvar ortamında, geleneksel servis usulüne uygun bir şekilde hassas terazi ile tartılarak hazırlandı. Bunlar sırasıyla Kayseri mantı, lahmacun, zeytinyağlı yaprak sarma ve mercimek köfte şeklindedir (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Geleneksel Yemek Türleri

Besinler	1 porsiyon/gram	Ek Malzeme	Gram
Kayseri mantı	250	-----	-----
Lahmacun (1 adet)	123	Domates Soğan Marul Limon	80.5 47.0 25.0 28.0
Zeytinyağlı yaprak sarma	160	Limon	30.3
Mercimek köfte	176	Marul Limon	55.7 30.0

Hidroklorik asit çözeltisi, taka diastaz, ortofosforik asit Sigma Chem. Co. (St. Louis, MO), sodyum hidroksit çözeltisi FlukaAnalytical, potasyum ferrisiyanid çözeltisi (%1) Sigma Chem. Co. (St. Louis, MO), sodyum asetat çözeltisi (2.5 M) Isolabchemicals, tiamin stok çözeltisi Sigma Chem. Co. (St. Louis, MO) marka satın alındı. Bu çalışmada, çalkalamalı su banyosu (Memmert), pH metre (HANNA instruments HI 2211 PH/ORP Meter), ultrasonik su banyosu (Selectaultrasons H-D), otoklav (SelectaPresoclave – II), otomatik pipet (100/1000µl-5/50µl- 2/200µl), (Axypet – Autoclavable), 0.45 µm CA filtre (Chromafil CA-45/25), santrifüj (Hitachi CR22N) ve buzdolabı (Uğur) marka kullanıldı. Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta ve kullanılan çözeltiler analiz sırasında distile su ile Direct-Q 3 UV ultrapure sistemi kullanılarak hazırlandı. Analiz sonuçları, Shimadzu Nexera-i LC – 2040C 3D marka HPLC cihazı kullanılarak elde edildi.

2.1.B₁ Vitamini (Tiamin) Tayini

2.1.1. Standard Hazırlama

Her bir örnek için, standard tiamin stok çözeltisini çözmek amacıyla 0.1 N hidroklorik asit çözeltisi hazırlandı. Çalışma sırasında kullanılan her bir standard çözeltisi günlük olarak, analiz için hazırlandı.

2.1.2. Örneğin Homojenize Edilmesi

Homojenize edilmiş 10 g örnek 100 mL'lik erlen içerisinde tartıldı, üzerine 60 mL 0.1 N hidroklorik çözeltisi ilave edildi. Daha sonra 121°C'de 30 dk otoklavlandı. Örnekler oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve 2.5 M sodyum asetat çözeltisi ile pH 4.5'e ayarlandı. Örneğin üzerine 100 mg takadiastaz ve 5 mg asit fosfat az ilave edildikten sonra çalkalamalı su banyosunda 45°C'de 3 saat süre ile inkübe edildi. Süre sonunda oda sıcaklığına gelene kadar soğutuldu ve hacim 100 mL olacak şekilde 0.1 N HCl çözeltisi ile tamamlandıktan sonra adi filtre kağıdından süzüldü ve son olarak 0.45 µm filtreden süzülerek HPLC'ye enjekte edildi.

2.1.3. B₁ Vitaminin HPLC ile Belirlenmesi

B₁ vitamini analizi Shimadzu Nexera-i LC – 2040C 3D (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) marka HPLC cihazında yapıldı. Mobil faz distile su ve asetonitril ile (85:15) hazırlandı. Floresans dedektörde, eksitasyon dalga boyu ve emisyon dalga boyu sırasıyla 445 nm ve 525 nm olarak ayarlandı. B₁ vitamini, analitik ters fazlı kolon (Agilent Eclipse XCD- C18, 5µm, 4.6x150 mm) ile 1 mL/dakika akış hızıyla ayrıldı.

2.2. B₂ (Riboflavin) Vitamini Tayini

2.2.1. Standard Hazırlama

Her bir örnek için, standard riboflavin stok çözeltisini çözmek amacıyla 0.1 N hidroklorik asit çözeltisi hazırlandı. Çalışma sırasında kullanılan her bir standard çözelti günlük olarak, analiz için hazırlandı.

2.2.2. Örneğin Homojenize Edilmesi

Homojenize edilmiş 10 g örnek 100 mL'lik erlen içerisinde tartıldı, üzerine 60 mL 0.1 N hidroklorik çözeltisi ilave edildi. 121°C'de 30 dk otoklavlandıktan sonra örnekler oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve 2.5 M sodyum asetat çözeltisi kullanılarak pH 4.5'e ayarlandı. Örneğin üzerine 100 mg takadiastaz, 5 mg asit fosfat az, 1 mg distile su ilave edildi.

2.2.3. B₂ vitamininin HPLC ile Belirlenmesi

B₂ vitamini analiz sonuçları, Shimadzu Nexera-i LC – 2040C 3D (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) marka HPLC cihazı kullanılarak elde edildi. Mobil faz distile su ve asetonitril ile (85:15) hazırlandı. Floresans dedektör, eksitasyon dalga boyu ve emisyon dalga boyu sırasıyla 445 nm ve 525 nm olarak ayarlandı. B₂ vitamini, analitik ters fazlı kolon (Agilent Eclipse XCD- C18, 5µm, 4.6x150 mm) ile 1 mL/dakika akış hızıyla ayrıldı.

2.3. B₃ (Niasin) Vitamini Tayini

2.3.1. Standard Hazırlama

Her bir örnek için, standard nikotinic asit ve nikotinamid stok çözeltilerinden 100 ml'lik balon joje içine 10 mg tartıldı ve bir miktar 0.1 N hidroklorik asit ile çözündürüldü ve son hacime tamamlandı. Gerekli seyreltme işlemi yapıldıktan sonra 1, 2, 3, 4 µg/mL'lik çalışma standartları hazırlandı.

2.3.2. Örnek Hazırlama

Homojenize edilmiş 10 g örnek 250 mL'lik erlene konularak tartıldı, üzerine 60 mL 0.1 N hidroklorik asit ilave edildikten sonra 121°C'de 30 dk otoklavlandı ve daha sonra örnekler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutuldu. Son hacim 0.1 N hidroklorik asitle tamamlandıktan sonra adi filtre kağıdından süzülerek 0.45 µm filtreden geçirildi ve HPLC'ye enjekte edildi.

2.3.2. B₃ Vitamininin HPLC ile Belirlenmesi

B₃ vitamini analiz sonuçları, Shimadzu Nexera-i LC – 2040C 3D (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) marka HPLC cihazı kullanılarak elde edildi. Mobil faz distile su ve asetonitril ile 85:15 oranında hazırlandı. Floresans dedektör, eksitasyon dalga boyu ve emisyon dalga boyu sırasıyla 322 nm ve 380 nm olarak ayarlandı. B₃ vitamini, analitik ters fazlı kolon (Agilent Eclipse XCD- C18, 5µm, 4.6x150 mm) ile 1 mL/dakika akış hızıyla ayrıldı.

2.3. B₆ Vitamini Tayini

B₆ vitamininin analizi Bölüm 2.2.' de belirtilen B₂ vitamini ile aynı metod kullanılarak yapıldı, fakat B₆ tayini yapılırken çalkalamalı su banyosunda 18 saat inkübe edildi.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada bazı geleneksel yemeklerde bulunan B₁ vitamin değerleri Tablo 2' de verilmiştir. En yüksek B₁ vitaminine sahip geleneksel yemek türü olan mercimek köftesinin 1 porsiyonunda (176 g) 299.20 µg B₁ vitamini bulunmaktadır. Mercimek köftesinin, yetişkin bireylerde günlük B₁ vitamini gereksinimini karşılama oranı %24.9' dur.

Tablo 2. Analiz sonucunda, bazı geleneksel yemek türlerinden elde edilen B₁ vitamin miktarı

Geleneksel Yemek Türleri	B ₁ vitamini (µg/100 g)	B ₁ vitamini (µg/Porsiyon)	Günlük gereksinim(%)
Kayseri mantı	41.9±1.9	105.0	8.75
Lahmacun	160.5±7.3	198.03	16.5
Zeytinyağlı yaprak sarma	26.9±1.2	43.200	3.60
Mercimek köfte	169.4±7.7	299.20	24.9

Bu çalışmadaki bazı geleneksel besinlerde bulunan B₂ vitamin miktarları Tablo 3' de verilmiştir. En yüksek B₂ vitaminine sahip geleneksel yemek türü olan mercimek köftesinin 1 porsiyonunda (176 g) 364.32 µg B₂ vitamini bulunmaktadır. Mercimek köftesinin, yetişkin bireylerde günlük B₂ vitamini gereksinimini karşılama oranı %28.0' dir.

Tablo 3. Analiz sonucunda, bazı geleneksel yemek türlerinden elde edilen B₂ vitamin miktarı

Geleneksel Yemek Türleri	B ₂ vitamini (µg/100 g)	B ₂ vitamini (µg /Porsiyon)	Günlük gereksinim(%)
Kayseri mantı	53.8±2.4	135.00	10.3
Lahmacun	77.7±3.5	95.940	7.38
Zeytinyağlı yaprak sarma	63.8±2.9	102.40	7.87
Mercimek köfte	206.3±9.3	364.32	28.0

Bu çalışmada kullanılan geleneksel besinlerde bulunan B₃ (Niasin) vitaminin formlarının miktarları Tablo 4' de verilmiştir. B₃ vitamini için en yüksek değer 1 porsiyon (160 g) zeytinyağlı yaprak sarma 1030.4 µg olarak bulunmuştur. Zeytinyağlı yaprak sarmının, yetişkin bireylerde günlük B₃ vitamin gereksinimlerini karşılama oranı ise %7.33' dür.

Tablo 4. Analiz sonucunda, bazı geleneksel yemek türlerinde elde edilen B₃ vitaminin nikotinkasit ve nikotinamid formlarının miktarı

Geleneksel Yemek Türleri	Nikotinkasit (µg/100 g)	Nikotinamid (µg/100 g)	Toplam B ₃ (µg/100 g)	B ₃ vitamini (µg/porsiyon)	Günlük gereksinim (%)
Kayseri mantı	85.7±3.9	169.4±7.7	256.00	640.00	4.70
Lahmacun	33.9±1.5	143.5±6.5	178.00	218.94	1.55
Zeytinyağlı yaprak sarma	139.5±6.3	502.3±22.7	644.00	1030.4	7.33
Mercimek köfte	106.6±4.8	167.4±7.6	275.00	484.00	3.44

Bu çalışmadaki bazı geleneksel besinlerde bulunan B₆ vitamininin formlarının miktarları Tablo 5' de verilmiştir. B₆ vitamin için en yüksek değer 1 porsiyon (250 g) Kayseri mantı 640.00 µg olarak bulunmuştur ve Kayseri mantının yetişkin bireylerde günlük B₆ vitamin gereksinimlerini karşılama oranı %47.9 'dur.

Tablo 5. Analiz sonucunda, bazı geleneksel yemek türlerinden elde edilen B₆ vitaminin PL, PN ve PM formlarının miktarı

Geleneksel Yemek Türleri	PL (µg/100 g)	PN (µg/100 g)	PM (µg/100 g)	Toplam B ₆ (µg/100 g)	B ₆ vitamini (µg/porsiyon)	Günlük gereksinim (%)
Kayseri Mantı	194.4±8.8	45.8±2.1	9.0±0.4	249.2	623.00	47.9
Lahmacun	24.9±1.1	119.6±5.4	136.5±6.2	281.0	345.63	26.5
Zeytinyağlı yaprak sarma	17.9±0.8	22.9±1.0	15.0±0.7	55.80	89.280	6.86
Mercimek köfte	30.9±1.4	65.8±3.0	81.7±3.7	178.4	313.98	24.1

Ülkemizde ve dünyada son yıllarda sağlıklı beslenme konusunda giderek daha bilinçli hareket etme isteği artmaktadır. Beslenme, hem yaşamımızı sürdürebilmek hem de sağlıklı kalabilmemiz için çok önemlidir. Bu açıdan bakıldığında ülkemizde çok sık tüketilen geleneksel besinlerin içeriğini bilmek önem kazanır. Literatürde, ülkemize ait olan geleneksel besinlerin B vitamin kompozisyonlarıyla ilgili çalışmaya rastlanmamış olması bu çalışmanın özgün olduğunu göstermektedir. Çalışılan örnekler açısından benzer bir yayın yoktur fakat farklı örneklerle benzer metodlar kullanılmıştır.

Ciulu vd. (2010)'da 12 farklı bitkisel kökenli 28 bal örneğinde bulunan suda çözünen vitaminlerin analizi RP-HPLC (Ters Faz – Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi) kullanılarak yapılmıştır. Aslında şeker bazlı matrislerde vitamin analizlerine çok fazla rastlanmamaktadır. Bu çalışmada, suda çözünebilir beş vitaminin (B₂ vitamini, riboflavin; B₃ vitamini, nikotinkasit; B₅ vitamini, pantotenik asit; B₉ vitamini, folik asit ve B₁₂ vitamin) aynı anda belirlenmesi için basit ve hızlı bir RP-HPLC yöntemi önerilmiştir. Bu

yöntem düşük miktarda tespit ve geniş bir konsantrasyon aralığında çok iyi bir doğruluk ve hassasiyet sağlamıştır. Çalışma sonucunda hemen hemen tüm bal örneklerinde C vitamini ve B₃ vitamini olduğu gözlenmiştir (Ciulu vd., 2010).

Rose - Sallin vd. (2000)'de yapmış olduğu çalışmada takviye edilmiş bazı gıda ürünlerinde niasin tayini için mikrobiyolojik ve HPLC floresans saptama yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada örnek olarak süt, tahıl ürünleri, kahvaltılık gevrek ve sıvı olan klinik besinler kullanılmıştır. Çalışmada önerilen HPLC metodu ters faz kromatografisi, post kolon türevlendirme ve floresansa dayanan tespit yöntemi gibi üstünlük sağlayan parametrelerden dolayı tahıl ve süt bazlı ürünlerde niasinin belirlenmesi için çok özel, seçici ve uygun bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte HPLC yöntemi yiyeceklerde mikrobiyolojik analizden biraz daha düşük olan niasin değerleri verir. Çalışma, tahıl bazlı ürünler için önemli farklılıklar sunmuştur. Ayrıca sonuçlar incelendiğinde elde edilen HPLC değerlerinin, gıdadaki gerçek biyolojik olarak kullanılabilir niasin konsantrasyonlarına mikrobiyolojik değerlerden daha yakın olduğu gösterilmiştir (Rose - Sallin vd., 2000).

El-Arab vd. (2003)'de yaptıkları çalışmada, Mısır'ın 240 farklı temel gıdasının B₁ vitamini açısından yeterliliği araştırılmıştır. Bu çalışmada da enzimatik sindirim, türevlendirme ve HPLC ayrılması sonrasında veriler değerlendirilmiştir. Analiz edilen gıdalardan, mısır nişastası pudingi en düşük 0.001 mg (100 g) iken, ev yapımı ekme (battawi) ise 0.672 mg (100 g) olarak en yüksek bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, Mısır nüfusunun tahmini günlük B₁ vitamini alımının % 70'lik kısmının ekme ve diğer tahıl ürünlerinden karşılandığını göstermiştir (El-Arab vd., 2003).

Yaman ve Mızrak (2019)'da yaptıkları çalışmada 13 farklı tahıl bazlı bebek mamasında B₆ vitamininin piridoksal, piridoksin ve piridoksamın formlarının biyolojik olarak erişilebilirliklerini *in vitro* koşullarda değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada B₆ vitamininin PL, PN ve PM formları HPLC metodu kullanılarak ayrılmıştır. Ayrıca, *in vitro* insan sindirim (ağız, mide ve ince bağırsak) ortamı oluşturularak biyolojik olarak erişilebilirliği de incelenmiştir. Çalışma sonucunda B₆ vitamini miktarı numunelerde 265 ile 1163 µg (100 g) arasında olduğu gözlenmiştir. *In vitro* sindirim sistemi aracılığıyla, ürünlerin ambalaj etiketlerindeki bilgilerin analiz sonucu elde edilen değerlerle karşılaştırılması sağlanmıştır. Etiket üzerindeki beyanlarla karşılaştırıldığında, 13 tahıl bazlı bebek mamasından 12'sinin toplam B₆ vitamini seviyelerini içerdiği tespit edilmiştir. Türk Gıda Kodeksi' ne göre, bebek gıdalarında izin verilen maksimum B₆ vitamini sınırı, 0.35 mg/100 kcal şeklindedir. Bu çalışmadaki ürünlerin üzerindeki kalori değerleri ise 384 ile 432 kcal/100 g arasında değişmiştir. Bu bilgilere göre, toplam B₆ vitamini değeri tüm ürünlerde maksimum limitin altında olduğu ve Türk Gıda Kodeksi' ne uygun olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, ölçülen B₆ vitamin sonuçları Amerikan Gıda Bileşimi Veritabanı (USDA) tarafından bulunan sonuçlarla uyumlu olduğu da gösterilmiştir (Yaman ve Mızrak, 2019).

Yaman (2019)'da yaptığı çalışmada farklı ekme çeşitlerinde doğal olarak bulunan B₁, B₂ ve B₆ vitaminlerinin *in vitro* biyoerişilebilirliğini incelemiştir. Çalışmada vitamin içerikleri Yüksek Performanlı Sıvı Kromatografisi (HPLC) ile belirlenmiştir ve analiz sonuçlarında B₆ vitamenerlerinden olan PN formunun en yüksek olduğu ve yulaf içeren ekmeğin vitamin B₁, B₂ ve B₆ biyoerişilebilirliği karşılaştırılan diğer ekme türlerinden daha düşük olduğu bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde, günlük beslenmemizde ekmeğin yanında B grubu vitamin açısından zengin besinler tüketilmesi gerektiği beyan edilmiştir (Yaman, 2019).

4. Sonuç

Bu çalışmada, ilk aşamada Türk mutfağındaki geleneksel olan bazı besinlerin günlük alınması gereken B vitamini miktarının belirlenmesi, ikinci aşamada B vitamininin biyoyararlılığı hakkında bilgi edinilmesi ve son olarak da bu besinlerin günlük gereksinimleri karşılayıp karşılamadığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma da sunulan veriler gıda bileşimi veritabanları, araştırma çalışmaları ve hasta danışmanlığı için potansiyel kullanım alanları bulacaktır. Laboratuvar çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, Türk mutfağındaki yemeklerin, B grubu vitamin değerleri bakımından oldukça zengin olduğu görülmektedir. B grubu açısından zengin olmasının sebebi ise içerisinde tam tahıl grubu, et, yumurta, baklagil ve yeşil yapraklı sebzeler bulunmasıdır. Ayrıca çalışma sonucunda, günlük gereksinimizi karşılayan B grubu vitamin sonuçları besinler arasında farklılık göstermiştir, bu durum ise B vitaminlerinin kimyasal olarak farklı formlarda ve miktarlarda olup farklı özellikler göstermesinden kaynaklanmaktadır. B grubu vitaminler suda eriyen vitaminler sınıflandırılmasında yer aldığı için pişirme sırasında kayıplar görülmektedir. Bu kayıpların yaşanmaması için yemeklerin pişirme sularının dökülmemesi gerekir çünkü haşlama sularını dökülmesi B grubu vitamin içeriklerini kaydadeğer düzeyde azaltmaktadır. Az suda haşlama veya suyun çektilmesiyle yapılan pişirme yöntemi, vitamin kayıplarını minimum seviyeye ulaştırır. Yüksek derece ve ateşe yakın pişirilen etlerde pişirme sularının kaybolmasına bağlı olarak B₂, B₁₂ ve folik asit gibi B grubu vitamin kayıpları meydana gelmektedir. Orta veya düşük sıcaklıkta kendi nemi ile pişirilmesi vitamin kayıplarını azaltabilir. Ayrıca, hazırlama ve saklama süreçlerinde veya sebzeleri yıkama aşamasında suda bekletmek bazı vitaminlerin suda çözünerek kaybolmasına sebep olabilmektedir. Türk mutfağının sahip olduğu geniş yemek kültüründeki besinler, temel pişirme ilkelerine göre hazırlanırsa daha sağlıklı olacaktır. Bu çalışmanın verileri, bireylerin ihtiyacına uygun şekillerde hazırlanan menülerin planlaması yapılırken vitamin kombinasyonunu sağlamak amacıyla göz önünde bulundurulabilir.

Kaynakça

- Barut, İ. 2016. Niasin (B3) Vitamininin Yağ Grefti Sağ Kalımı Üzerine Etkisi. Gazi Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Uzmanlık Tezi, 110s, Ankara.
- Bingöl, G. 1977. Vitaminler ve Enzimler. Ankara Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi Yayınları, Ders Kitabı Serisi, 90s, Ankara.
- Boyacı, B.B. 2008. Zenginleştirilmiş Unlardan Farklı Koşullarda Üretilen Ekmeklerin Bazı B Vitaminini İçeriklerinin İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 148s, Ankara.
- Ciulu, M., Solinas, S., Floris, I., Panzanelli, A., Pilo, M. I., Piu, P. C., Sanna, G. 2011. RP-HPLC determination of water-soluble vitamins in honey. Talanta, 83(3), 924-929.

- Demirci, M. 2014. Beslenme, Gıda Teknoloji Derneği Yayınları, (5. Baskı) 370s, Tekirdağ
- El-Arab, A. E., Ali, M., Hussein, L. 2004. Vitamin B1 profile of the Egyptian core foods and adequacy of intake. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(1), 81-97.
- Ertaş, Y., Gezmen, M. 2013. Sağlıklı beslenmede Türk mutfak kültürünün yeri. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2(1), 117-136.
- Esteve, M. J., Farré, R., Frígola, A., García-Cantabella, J. M. 2001. Simultaneous determination of thiamin and riboflavin in mushrooms by liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3), 1450-1454.
- Güngör, K. 2003. Vitamin ve minerallerin dişhekimliğindeki önemi. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 20(3), 51-56.
- Kızıldemir, Ö. Öztürk, E., Sarıışık, M. 2014. Türk mutfak kültürünün tarihsel gelişiminde yaşanan değişimler. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 191-210.
- Ndaw, S., Bergaentzle, M., Aoudé-Werner, D., Hasselmann, C. 2002. Enzymatic extraction procedure for the liquid chromatographic determination of niacin in foodstuffs. *Food Chemistry*, 78(1), 129-134.
- Rose-Sallin, C., Blake, C. J., Genoud, D., Tagliaferri, E. G. 2001. Comparison of microbiological and HPLC-Fluorescence detection methods for determination of niacin in fortified food products. *Food Chemistry*, 73(4), 473-480.
- Sampson, D. A., Eoff, L. A., Yan, X. L., Lorenz, K. 1995. Analysis of free and glycosylated vitamin B6 in wheat by high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*, 72(2), 217-220.
- Samur, G. 2008. Vitaminler Mineraller ve Sağlığımız. *Klasmat Matbaacılık*, 32s, Ankara.
- Tayar, M. Korkmaz, H.N., Özkeleş, E. 2013. Beslenme İlkeleri. *Dora Yayınları*, (2.Baskı) 368s, Bursa.
- Yaman, M. 2019. Farklı ekmeğ çeşitlerinde doğal olarak bulunan vitamin B₁, B₂ ve B₆'nın in vitro biyoerişebilirliğinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 758-764.
- Yaman, M., Mızrak, Ö. F. (2019). Determination and evaluation of in vitro bioaccessibility of the pyridoxal, pyridoxine, and pyridoxamine forms of vitamin B₆ in cereal-based baby foods. *Food Chemistry*, 125042.



İndüksiyon Motorun Mekanik Arıza Teşhisinde Makine Öğrenme Yöntemlerinin Kullanılması

Mehmet Recep Minaz^{1*}, Kadriye Yıldız²

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8046-6465)

² Siirt Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

(İlk Geliş Tarihi 25 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 25 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.596898)

ATIF/REFERENCE: Minaz, M. R. & Yıldız, K. (2019). İndüksiyon Motorun Mekanik Arıza Teşhisinde Makine Öğrenme Yöntemlerinin Kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 881-904.

Özet

Elektrik makinalarında erken arıza tespiti, arızanın büyüyüp hasarı yaymadan önüne geçilmesi açısından oldukça önemlidir. Arızaların büyümeden öngörülmesi, motorun ömrünü artırdığından araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Bu yönde çalışan araştırmacılar endüstriyel düzeyde hızlı, yorumlaması kolay ve işletme açısından uygulanabilirlik olan teknikler üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmada indüksiyon motorlarda oluşan kırık rotor çubuğu ve eksenden kaçıklık arızalarının sonuçlarını sunmaktadır. Sağlıklı ve hatalı koşullar için bir indüksiyon motorun sonlu elemanlar modeli (FEM) geliştirilmiş ve analiz edilmiştir. Arızalı bir makinenin modeli, sağlıklı motorun fiziksel durum ve mekanik pozisyonları değiştirilip farklı arıza şiddetleri oluşturularak akım, gerilim, akı ve tork sinyalleri incelenmiştir. Bu farklı arıza şiddetlerine ait elektriksel sinyallerin verdiği tepkiler karşılaştırılmıştır. Elde edilen akım sinyaline ait ham verilere hızlı fourier yöntemi (FFT) uygulanarak işlenmiş veriler elde edilmiştir. Öznitelik çıkarımı olarak kNN, MLP, RT gibi farklı sınıflandırma metotları ile arıza teşhisinde eğitim amaçlı kullanılmıştır. Kırık rotor çubuğuna ait farklı arıza şiddetleri ile ilgilenirken, eksantriklik arızasında ise statik eksantriklik, dinamik eksantriklik ve karışık eksantriklik arızaları üzerinde durulmuştur. Ayrıca, farklı sınıflandırmalar kullanarak karşılaştırma yapılmıştır. k-NN, MLP ve RF algoritması sınıflandırma da doğruluğunun oldukça belirgin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İndüksiyon motor, veri madenciliği, öznitelik çıkarımı, arıza tespiti.

The Use of Machine Learning Methods For Induction Motor Mechanical Fault Diagnosis

Abstract

Early fault detection in electrical machines, grow and damage is quite important in terms of preventing the fault from spreading. Predictions of fault from growth have become the focus of attention of researchers as they can increase the life of the motor. Researchers working in this field have focused on techniques that are fast on the industrial level, easy to interpret and applicable to the enterprise. In this study, it presents the results of broken rotor bar and eccentric faults in induction motor. The finite element model (FEM) of an induction motor was developed and analyzed for healthy and defective conditions. The model of a fault machine, the physical state of the healthy motor and the mechanical positions are changed and the current, voltage, flux and torque signals are examined by creating different fault intensities. The responses of electrical signals of these different fault intensities were compared. The processed data were obtained by applying the fast fourier method (FFT) to the raw data of the obtained current signal. As a feature extraction, kNN, MLP, RT with different classification methods are used for training purposes in diagnostics. While dealing with the different fault intensities of the broken rotor bar, static eccentricity, dynamic eccentricity and mixed eccentricity faults are emphasized in the case of eccentricity fault. In addition, comparisons were made using different classifications. The accuracy of k-NN, MLP and RF algorithm classification was found to be quite significant.

Keywords: Induction motor, data mining, feature extraction, fault detection.

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8046-6465, recminaz@gmail.com

1. Giriş

İndüksiyon motorları gelişmiş ülkelerde üretilen toplam enerjinin azımsamayacak kadar tüketmektedir. Bu, bu indüksiyon motorlarının hem endüstride hem de evsel amaçlı yaygın şekilde kullanıldığını göstermektedir. Düşük bakım, düşük maliyet, basit yapı ve yüksek güvenilirlik, geniş kullanımlarının arkasındaki ana nedenleridir. Tüm bu özelliklerden dolayı, endüksiyon makineleri enerji santrallerinde ve evlerde pompalar, fanlar, kompresör gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Subramaniam, Sahoo, Manohar, & Panda, 11-14 Aug. 2017). Endüstriyel uygulamaların çoğunda, AC motorları, indüksiyon makinesinin rotor, stator ve yatak hasarına neden olabilecek elektrikli makine elemanlarının aşınmasına ve çatlamasına neden olan sık çalıştırma-durdurma döngülerine maruz kalır (Puche-Panadero, et al., 13 January 2009) (Granda, Aguilar, Arcos-Aviles, & Sotomayor, 2017). Herhangi bir güvenilir teşhis yönteminin temeli, sabit durum ve hata koşulları altında motorun elektriksel, manyetik ve mekanik davranışının analizidir (Faiz & Sharifian, 05 May 2006). Motor durum izlemesi, giderek daha fazla dikkat uyandıran yaklaşmakta olan bir arıza durumunun erken uyarısını vererek güvenilirliği artırmaya yardımcı olabilir. Mühendislik uygulamalarında dört aşamaya ayrılır: sinyal ölçümü, özellik çıkarımı, durum tespiti ve durum analizi (Desheng, Beibei, Yu, & Jinping, 25-27 May 2012).

Bu çalışmada, motorda oluşan arızaları etkin bir şekilde teşhis etmek için motor akım imza analizi (MCSA) kullanılmıştır. Akım sinyaline ait öznitelikleri elde etmek için hızlı fourier yöntemi kullanılmıştır. Çevrimiçi teşhiste indüksiyon motorda kırık rotor çubuğu ve eksantriklik durumları ele alınarak toplam on dört tür motor arızası oluşturulmuş ve spektral analiz ile MCSA kullanılarak bir indüksiyon motorunun arıza işleminin durumunu tanımlaması incelenmiştir. Makina arızaları, sağlıklı motor ile arızalı motor çıkış karakteristikleri karşılaştırılarak tespit edilmektedir. Elektriksel sinyallerdeki değişim arıza frekanslarında kendini gösterirken, karakteristik işaretler ile arıza nedeni ile oluşan sinyaller, birbirinden karşılaştırma ile ayrılabilir. Karşılaştırma FFT spektrum ve dalga formu grafikleri kullanılarak yapılır. Makinanın çalışma durumuna bağlı olarak alınan giriş sinyallerine hızlı bir şekilde FFT uygulanarak arıza nedeni ile artış gösteren frekansların ayırt edilmesini sağlanmıştır. Bu frekanslardaki artışın gözlemlenmesi ve buna uygun sınıflandırma metotları uygulayarak Kestirimci Bakım stratejisi oluşturulabilir. Bu çalışmada 30 kW üç fazlı sincap kafesli asenkron motorda oluşturulan arızalara ve sağlam motora ait elde edilen deneysel sonuçlar tartışılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile tasarlanmış asenkron motorun oluşturulan sağlam motor referans tutularak farklı arıza şiddetleri simüle edilmiştir. Bu program motorun akı, gerilim, tork ve akım gibi çıkış sinyallerini izlemeye izin verirken makinada çok yönlü bir arıza analizi yapılmasına olanak tanır. Makine tasarım aşamasındayken simülasyon ile farklı arıza şiddetleri oluşturulmuş; hassas ve yoğun veri toplama, zaman ve iş gücünden kazanç açısından oldukça etkilidir.

2. Oluşturulan Arızalara Genel Bir Bakış ve Test Motorunun Modellenmesi

2.1. Kırık Rotor Çubuğu Arızaları

Havalandırılmayan ortamlarda motor çalışması motor veriminin düşmesine neden olur ve endüksiyon makinesi rotorundaki kırık çubuklardan kaynaklanan arıza riskini artırır, çünkü rotordaki sıcaklık artışı çubukları kırmaya neden olabilir (Ceban, Pusca, & Romary, 29 July 2011). Uzun süre aralıklarla motor aşırı yükünün gerekli olduğu endüstriyel uygulamalarda, motor aşırı yükü, motorun dâhili bileşenlerinde termal baskı üretir, çünkü makine orijinal tasarımı tarafından öngörülenlerden farklı çalışma koşullarında çalışmaya zorlanır (Mustafa, Nikolakopoulos, & Gustafsson, February 2015) (Danilo Granda, Aguilar, Arcos-Aviles, & Sotomayor, 11 April 2017). Rotor arızaları asenkron motor arızalarının %8-9 kadarını teşkil etmektedir. Rotorda meydana gelen arızalar rotor çubuklarının çatlaması veya kırılması ve rotor kısa devre halkasının çatlaması veya kırılması olarak sıralanabilir. Rotorda meydana gelen arızalar motorun stator akımında, besleme frekansının sağında ve solunda olmak üzere yan bant frekans bileşenleri olarak gözlemlenir.

2.2. Eksenden Kaçıklık Arızası

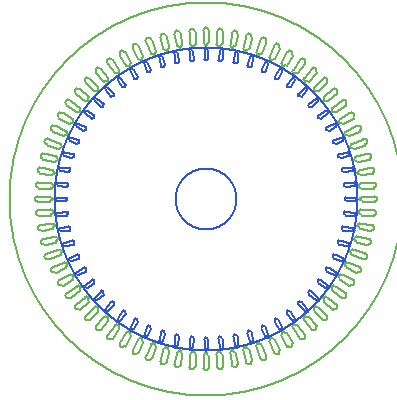
Eksenden kaçıklık arızası; stator ve rotor arasındaki eşit olmayan hava boşluğu sonucu oluşan bir durumdur. Üreticiler tarafından müsaade edilebilir eksenden kaçıklık oranı %5' i geçmemektedir. Sağlam bir motorda stator, rotor ve dönüş merkezi aynı eksen üzerindedir. Rotor ekseninin merkezi aynı zamanda dönüş ekseninin de merkezi ise bu durum statik eksenden kaçıklık arızasıdır. Statik eksenden kaçıklığa stator nüvesinin ovaliği veya rotor konumunun yanlış konumlandırılması sebep olabilmektedir. (Elif, Goşenay, & Mehmet, 2014) Hava boşluğu eksantrikliği, statik ve dinamik eksantrikliği içerir. Ek olarak, rotor merkezi rotasyon merkezinde bulunmadığında dinamik dış merkezlik ortaya çıkar. Statik eksantriklikte hava boşluğu uzunluğu stator tarafının bakış açısından sabitlenir. (Jee-Hoon, Jong-Jae, & Bong-Hwan, 30 November 2006)Rotor mili tertibatı yeterince sertse, statik dış merkezlik seviyesi değişmez. Dinamik eksantriklik gerçekleştiğinde, rotorun merkezi dönme merkezinde değildir ve minimum hava boşluğu pozisyonu rotorla birlikte döndürülür (Ishkova & Vitek, 20 July 2015).

2.3. Asenkron Motorun Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modellenmesi

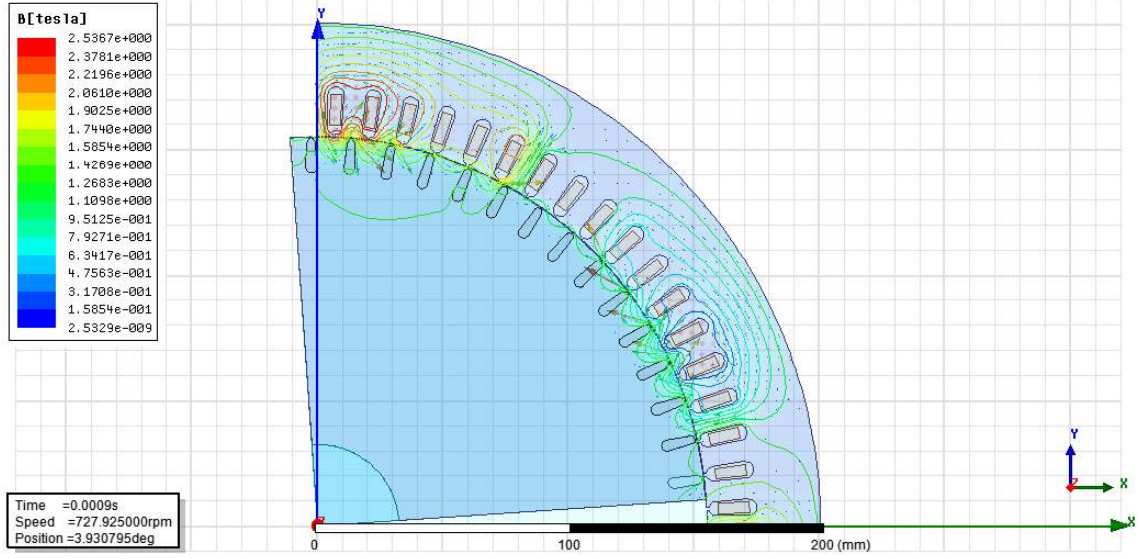
Sonlu Elemanlar Yöntemi ile 30 kW, 3 fazlı, 8 kutuplu 50 Hz de çalışan bir asenkron motor arıza analizi yapılmak üzere tasarlanmıştır. Motor tasarım ve giriş-çıkış parametreleri belirlendikten sonra tasarlanan motor sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılır. Aşağıda verilen Şekil 2.1'de asenkron motorun RMXprt modeli verilmiştir. Asenkron motorun 2D modelinin gösterimi şekil 2.2 verilmiştir. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4 verilen eğrilerde stator akım-zaman grafiği ve moment grafiği verilmiştir.

Tablo 0.1. Asenkron motorun tasarım parametreleri

Kutup sayısı	8	
Stator Dış Çapı	401.5	mm
Stator İç Çapı	309.55	mm
Rotor Dış Çapı	309	mm
Rotor İç Çapı	65	mm
Stator oluk Sayısı	72	
Anma Gerilimi	400	V
Giriş Gücü	33.448	kW
Çıkış Gücü	30	kW
Verim	89.7	%
Anma Hızı	727.92	rpm
Anma Torku	393.557	Nm
Anma Akımı	54.78	A
Atalet Momenti	1.273	Kgm ²



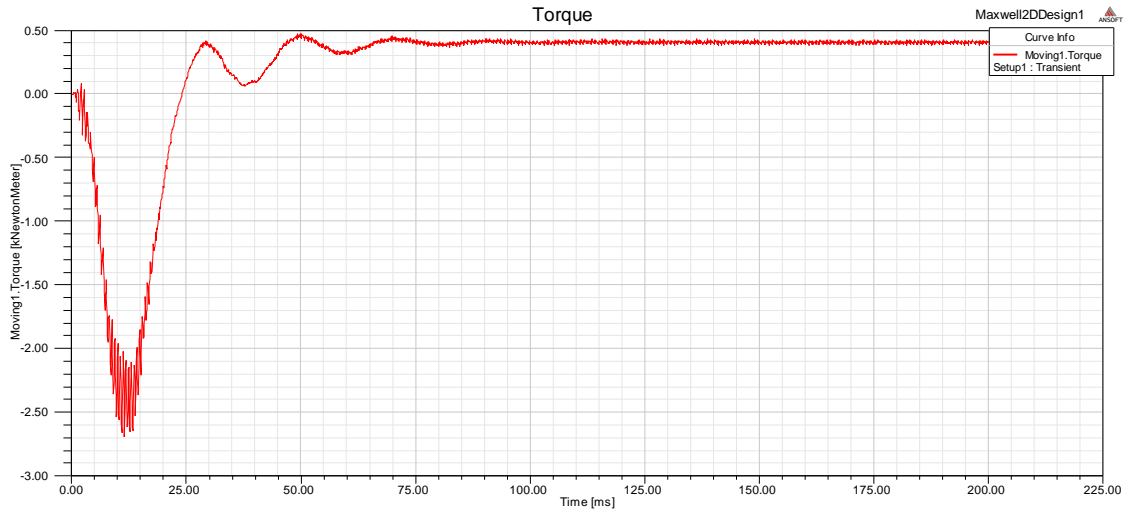
Şekil 2.1 Asenkron motor RMXprt modeli



Şekil 2.2. Asenkron motor 2D modeli



Şekil 2.3. Asenkron motorun Akım-Zaman stator çıkış sinyali



Şekil 2.4. Asenkron motorun Moment çıkış sinyali

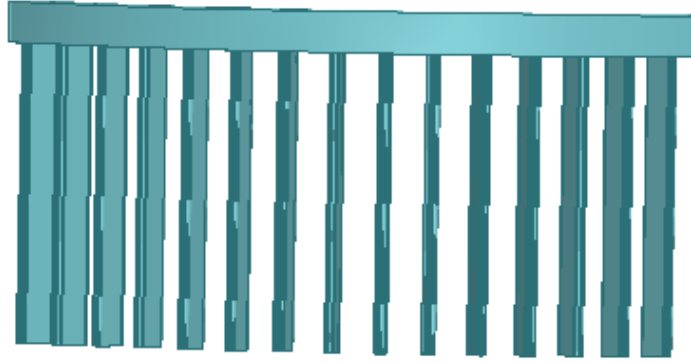
3. Asenkron Motorlarda Arıza Oluşturma ve Özellik Çıkarımı

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, gerçek bir sincap kafesli asenkron motorun özelliklerine dayanarak tasarlanan bu sağlam motor üzerinden on dört arızalı motor modeli oluşturuldu. Tüm simülasyonlar 0.0001 sn. adım aralıklarıyla 0.2 sn. boyunca gerçekleştirilmiştir. Bu adım aralığında elde edilen akım sinyallerinin 105-125 sn. aralığı boyunca tam bir periyot için FFT uygulanarak eğitilme üzere öz nitelik çıkarımı elde edilmiştir.

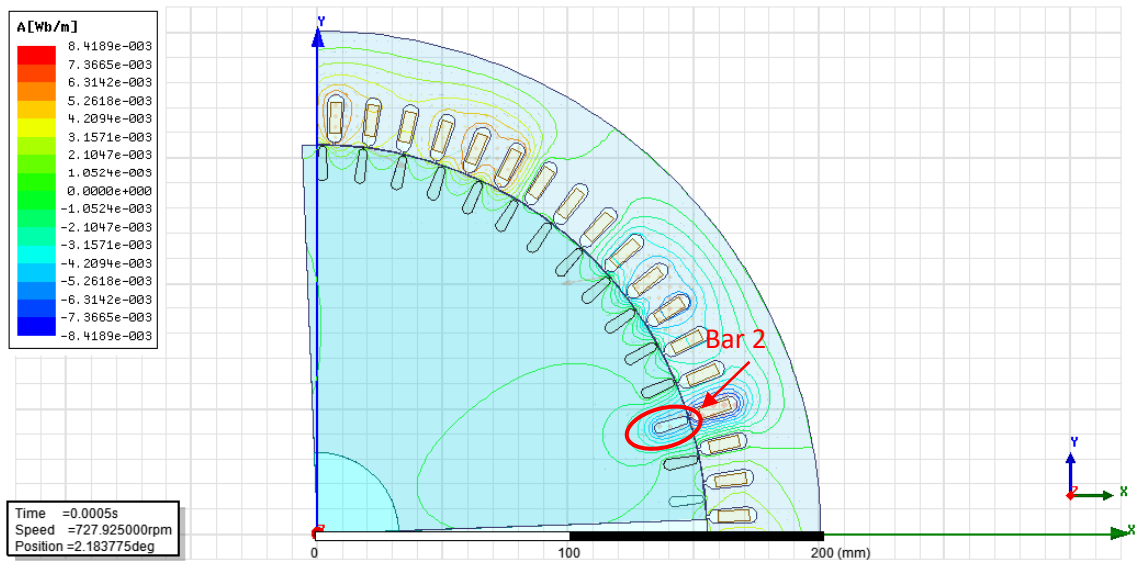
3.1. Kırık Rotor Çubuğu Arızası Modelleme

Rotor arızaları kırık çubuklarla ilgilidir. Bunlar, harekete geçen çeşitli streslerin bir kombinasyonundan kaynaklanır. Rotor üzerinde elektromanyetik, termal, dinamik, çevresel ve mekanik gerilmeler olarak tanımlanabilir. Bu nedenle bunlar düşük frekans torkuna yol açar. Gürültü ve titreşimi artıran harmonikler arıza tespitinde özellik çıkarımı olarak kullanılabilir (Yemna Bensalem, 2015). Bu bağlamda, FEM başarılı bir şekilde kullanılabilir, çünkü manyetik malzemenin lineer olmayışını, Asenkron Motor davranışının hatalarla ilgili ayrıntılı bir incelemesi için uygun olduğunu ve bu durumda kırık rotor çubuk hata tipinin dikkate değer olduğunu doğrular (Wiem, Yemna, & Hafedh, 16-19 March 2015).

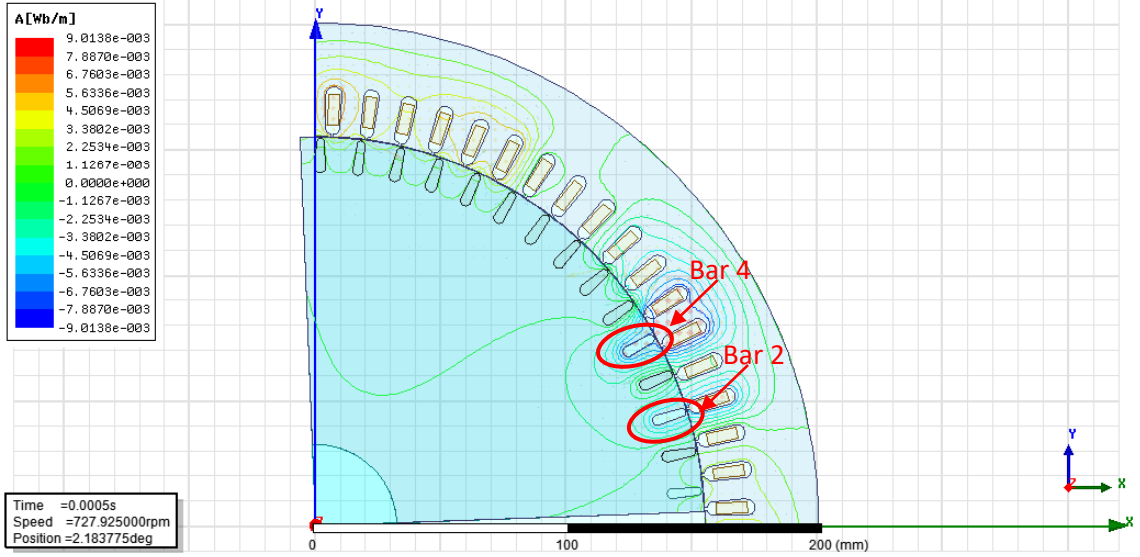
Bu çalışma için simüle edilen endüksiyon motoru FEM modeli 60 rotor oluk sayısı mevcuttur. Transiyet analizde motorun dörtte biri alındığında görünürde 15 rotor çubuğu vardır. Rotor çubuğunun gevşetilmesi veya sökülmesi, asenkron motorda çok önemli bir mekanik hata olarak kabul edilir. Bu bölümde de motora ait A fazının frekans bölgesi analizinin karşılaştırılması, bir bar, iki bar ve üç bar gibi üç farklı kırık rotor çubuğu arızası oluşturulmuştur. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile oluşturulan kırık çubuklar ve benzetim sonuçları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



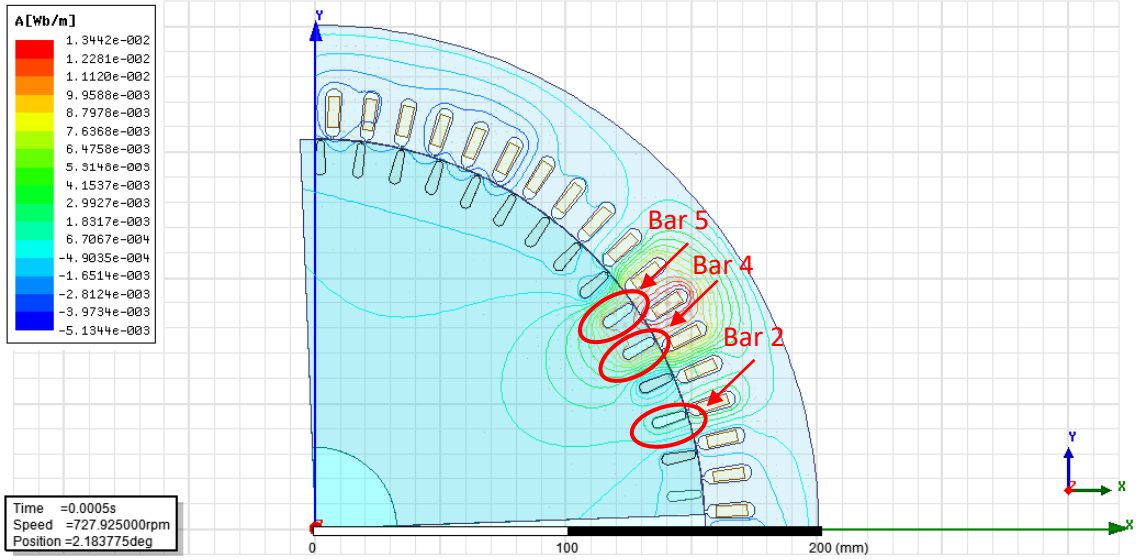
Şekil 3.1. Asenkron motorunun rotor çubuğu ve rotor halkası 2D gösterimi



(a)



(b)

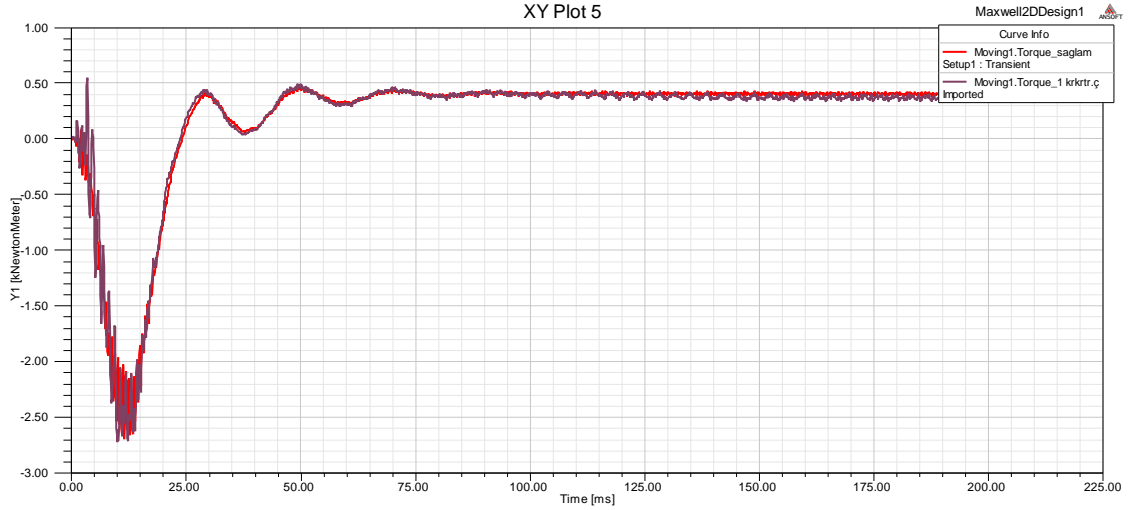


(c)

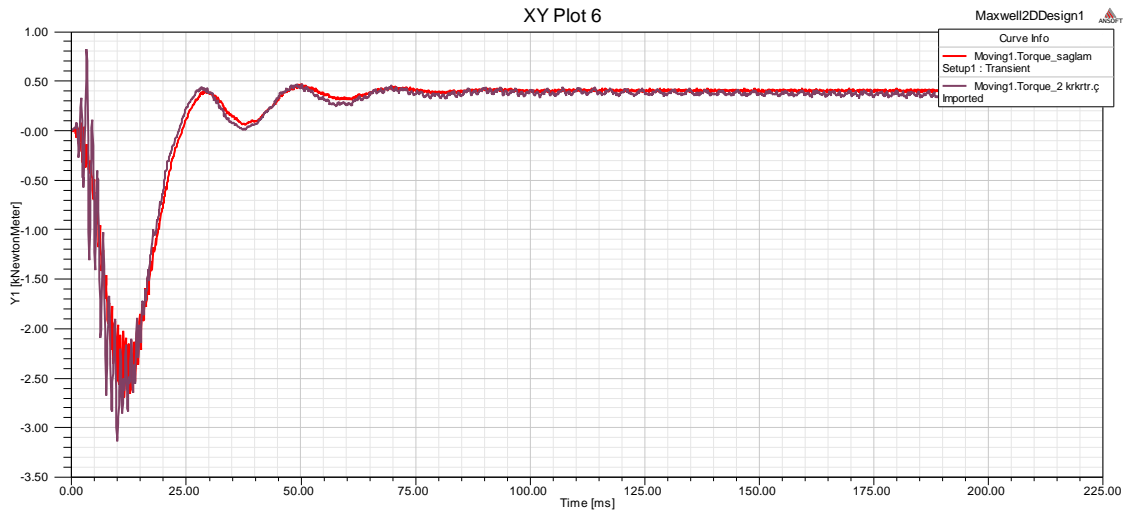
Şekil 0.2. Asenkron motor kırık rotor çubuğu arıza modellemesi a) 1 kırık b) 2 kırık c) 3 kırık

Oluşturulan bu arıza durumlarında, kırılan çubuğun akımı sıfır alınır, dolayısıyla kırılan çubuğun direncinin yeterince büyük olduğu çubuğun yüksek empedansla açık devre olduğu kabul edilir. Aslında, bu gerçek duruma yakındır, çünkü kırık çubuklar devresini tamamlamadığından üzerinde akım geçişine izin vermezler. Kırık çubuk endüksiyon motorunda gürültü, dengesiz manyetik çekmeye neden olur.

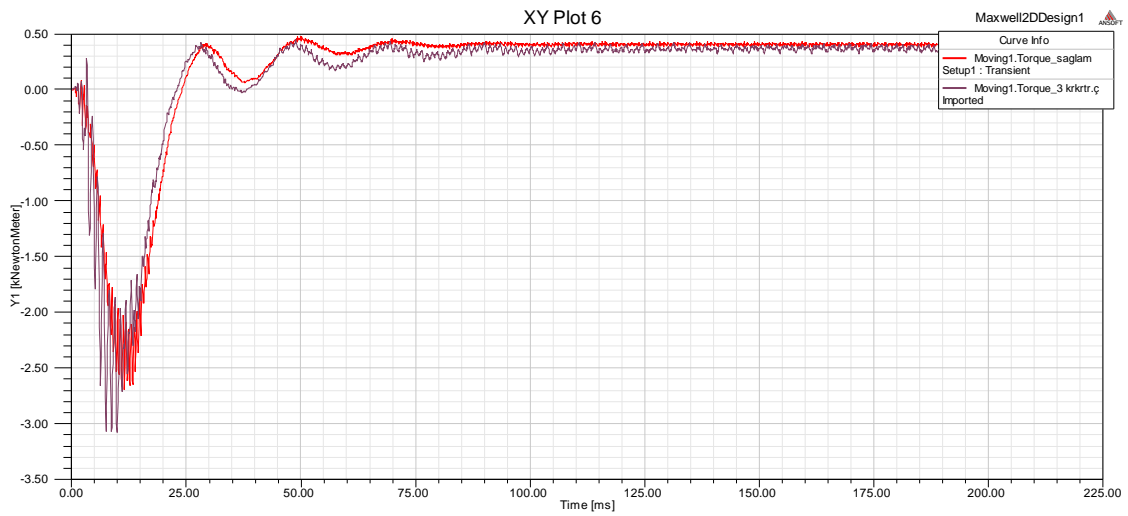
Bir elektrikli makinenin elektromanyetik torku elektrik gücünü mekanik güce dönüştürmek için kullanıldığı için çok önemlidir (Dorrell, Chindurza, & Cossar, Effects of rotor eccentricity on torque in switched reluctance Machines, 17 October 2005). Kırık rotor çoğuna ait farklı şiddetteki arızaların sağlam motor ile arızalı motor karşılaştırması aşağıda sunulmuştur. Her bir arıza şiddeti in sağlam durum ve arızalı durum tork çıkış sinyalleri karşılatırılmıştır.



Şekil 0.3. Asenkron motorun sağlıklı motor ile 1 kırık rotor çubuğuna ait tork karşılaştırılması



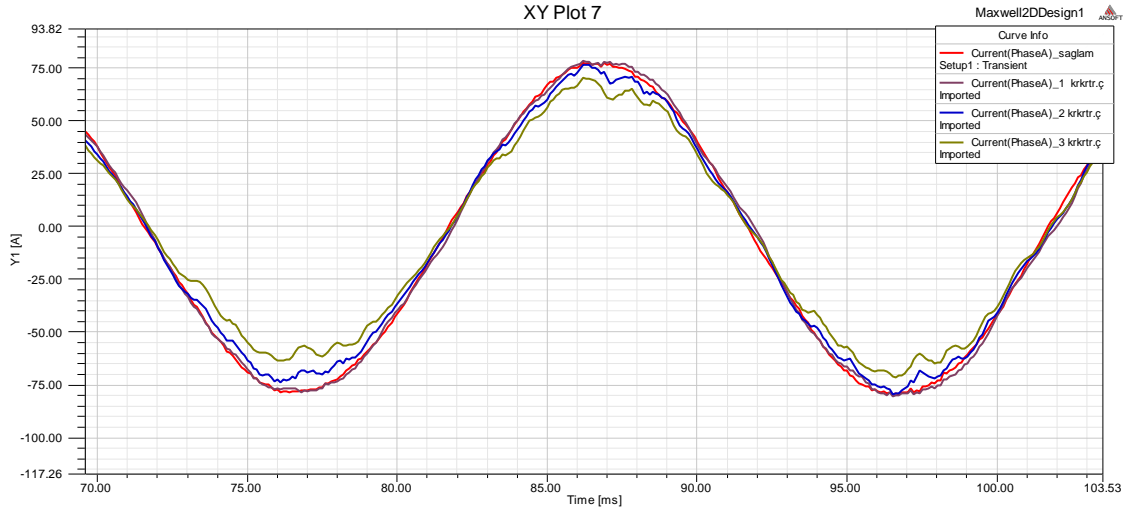
Şekil 0.4. Asenkron motorun sağlıklı motor ile 2 kırık rotor çubuğuna ait tork karşılaştırılması



Şekil 0.5. Asenkron motorun sağlıklı motor ile 3 kırık rotor çubuğuna ait tork karşılaştırılması

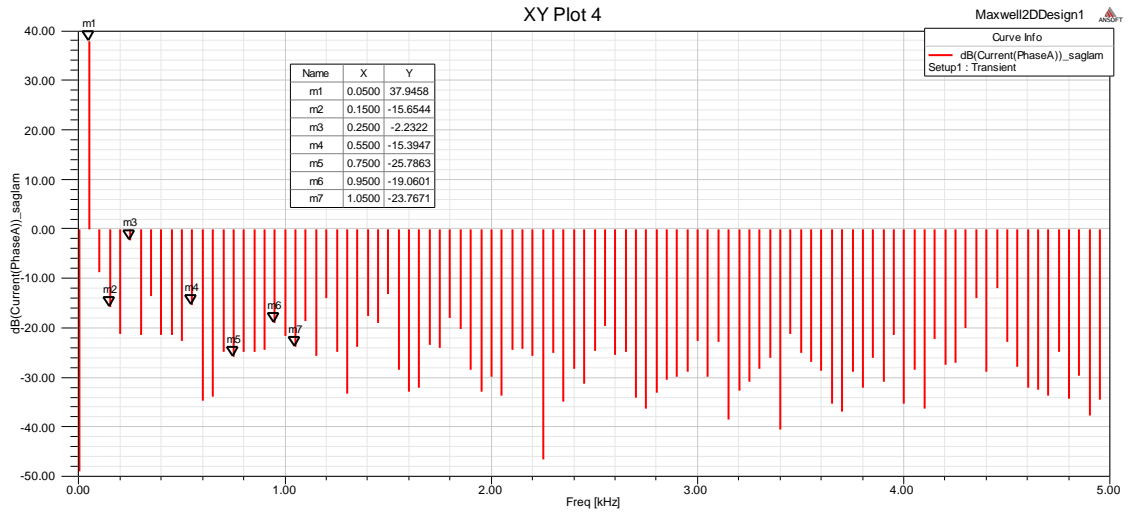
Stator akımındaki dengesizlik ve hatanın neden olduğu ilave harmoniklerin varlığı Makine tarafından oluşturulan tork üzerinde bir etkiye sahiptir. Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 da 3 arızalı durumun elektromanyetik tork simülasyon sonucunun sağlam motor ile karşılaştırılması göstermektedir. Kırılan çubukların sayısını artırırken, torkun daha fazla etkilendiğini not ediyoruz. Aslında,

çubukların yüksek empedans durumu dolayısıyla kırılması ya da olmaması ortalama değeri azaltır ve salınımları artırır. Bunlar, mekanik titreşimler üreten ve böylece makinenin anormal bir şekilde çalışmasını sağlayan dönme hızının salınımlarına neden olur.

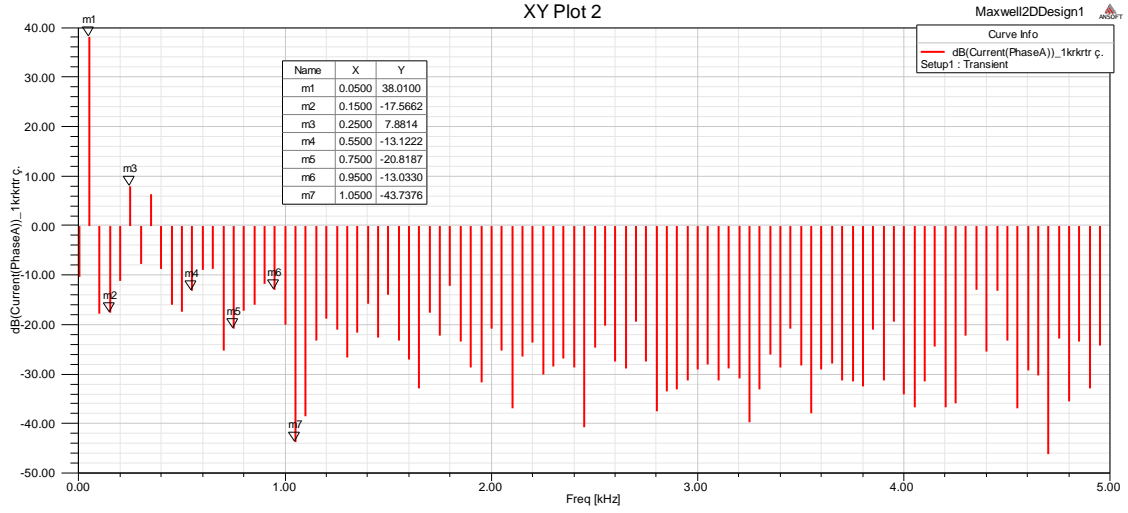


Şekil 0.6. Asenkron motorda kırık rotor çubuğuna ait farklı arıza şiddetlerinin çözünürlüğü artırılmış Akım dalga formları

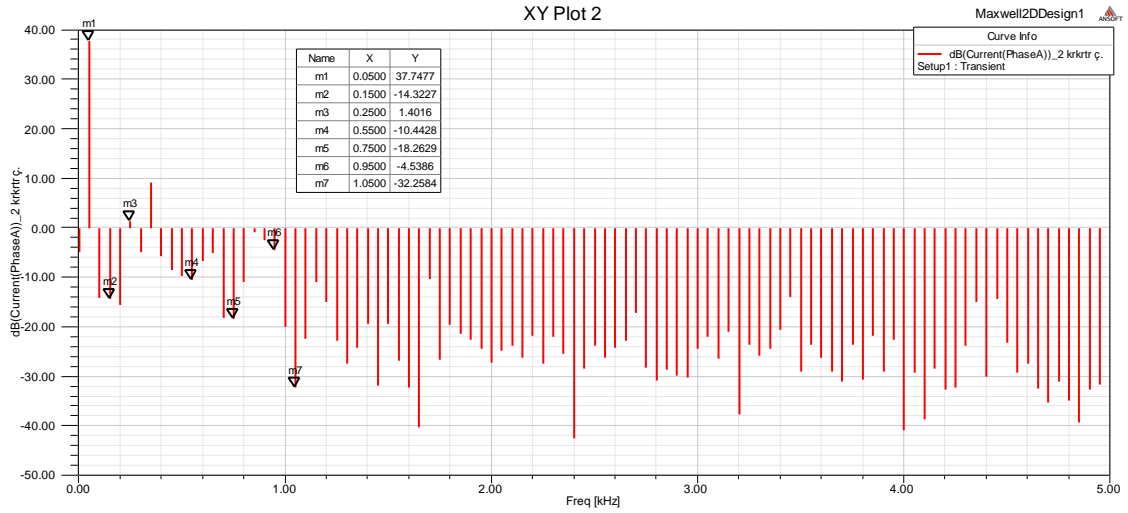
Motorun stator akımları sağlam, 1, 2 ve 3 kırık rotor durumundaki çıkış sinyalleri Şekil 3.6’da karşılaştırılmak üzere çözünürlüğü artırılmış bir şekilde gösterilmektedir. Simülasyona göre, stator akımlarının iki kırık ve üç kırık çubuğun göreceli konumlarından önemli ölçüde etkilendiği gözlemlenebilir. Ancak bir kırık rotor çubuğu arızalı sinyal durumu için aynı şey söylenemez. Bu durumda özellik çıkarımı için zaman domeninde analizi zordur. Hata şiddeti artıkça akım zamanla diğerlerinden daha şiddetli bir şekilde dalgalanır, yani hatalı özellik 3 kırık rotor koşulda maksimumdur. Kırık çubuklar 2 konumundayken hatalı özellik belirgin şekilde fark edilir ve kırılan çubuklar 3 konumundayken hatalı özellik maksimumdur. Böylece aşağıdaki sonuç elde edilebilir: kırık çubuk sayısı artıkça motorun asimetrisi, çalışma performansı üzerindeki etki, stator akımının hatalı özelliği lineer olarak artar.



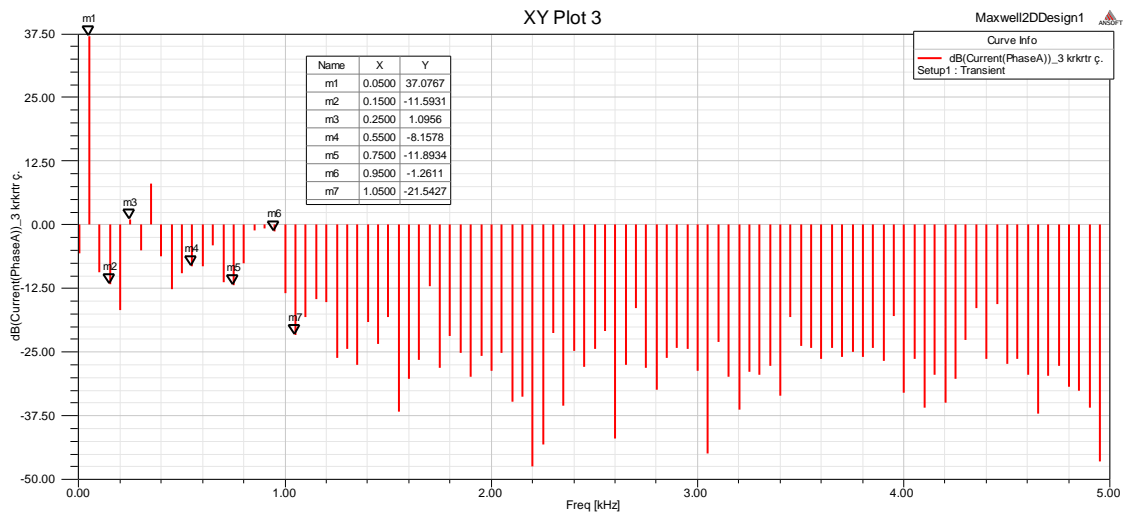
(a)



(b)



(c)

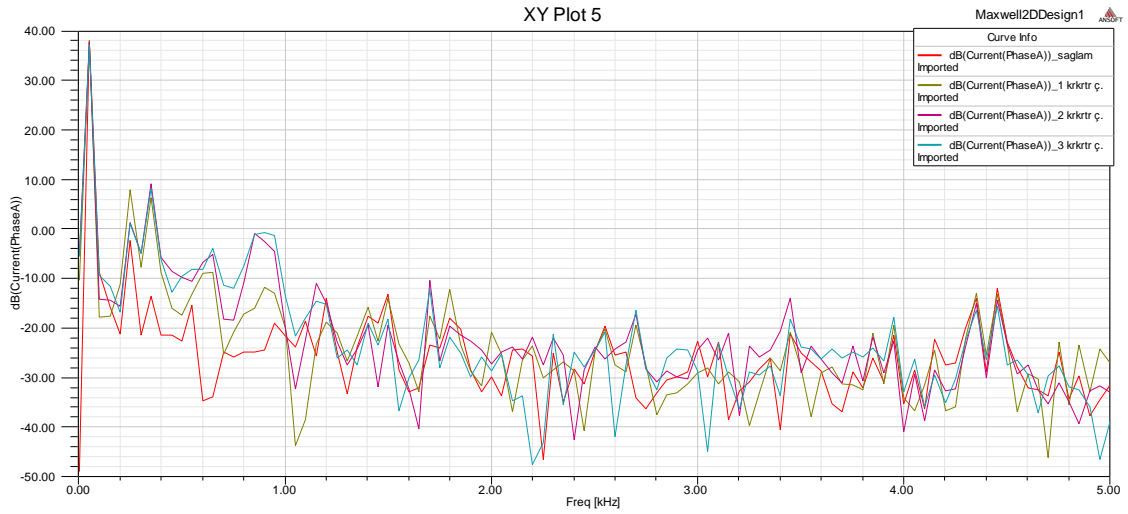


(d)

Şekil 0.7. Asenkron motor kırık rotor çubuğu arızasına ait FFT spektrumu a)sağlam motor b)1 kırık c)2 kırık d)3 kırık

Tablo 0.2. Asenkron motor kırık rotor çubuğu arızası öz nitelik çıkarımı için tespit edilmiş bazı önemli harmonikler

Harmonik (fs)	Sağlam	1 Kırık Rotor Ç.	2 Kırık Rotor Ç.	3 Kırık Rotor Ç.
	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)
1	37.94582	38.01003	37.74774	37.07669
3	-15.65441	-17.56619	-14.32272	-11.59311
5	-2.23220	7.88142	1.40156	1.09560
11	-15.39469	-13.12221	-10.44284	-8.15776
15	-25.78633	-20.81865	-18.26286	-11.89344
19	-19.06010	-13.03301	-4.53858	-1.26108
21	-23.76710	-43.73763	-32.25839	-21.54267



Şekil 0.8. Asenkron motorun kırık rotor çubuğu arızasının farklı şiddetlerine ait sürekli FFT sinyalleri

Bu gibi bir arıza kombinasyonu meydana geldiğinde, FFT çalışmasının kırık çubuk fayındaki frekans bileşenlerinin, hata şiddetlerinden herhangi birinin ortaya çıkması durumunda ortaya çıktıkları gibi benzersiz imzalarına sahip oldukları görülmüştür. Şekil 3.8'de akım harmonik analizinde bobin arası dönüş hatası için tepe noktaları rotorun kırık çubuk arızalarının farklı olduğu açıkça görülebilir.

3.2. Eksantriklik Arızasının Modellenmesi

Bir ideal endüksiyon motorunda, stator ve rotor arasındaki hava boşluğu, tam dairesel yol için aynıdır. Ama gerçekte yeni üretilen bir makinede bile hava boşluğu tamamen tekdüze değildir. Rotor ve stator arasında eşit olmayan hava aralığı dolayısıyla asimetric bir hava boşluğu motorda eksantriklik arızası olarak bilinmektedir. (Khalid & Galina, 10-13 May 2015) (Yassa, Rachek, & Houassine, April 2019) Eksantriklik, sapmanın stator ve rotorun yanlış yerleştirilmesi, rulmanların yanlış yerleştirilmesi, rulmanların aşınması, yanlış hizalanmış yük ve rotor milleri, mekanik yük dengesizliği, mekanik rezonans gibi nedenlerden kaynaklanabileceği herhangi bir eksen sapması ile olur. (A.Ghoggala, S.E.Zouzoua, H.Razikb, M.Sahraouia, & A.Khezzarc, May 2009).Bu bölümde Asenkron motorun farklı derecelerde statik eksantrik(SE),dinamik eksantriklik(DE) ve bu ikisinin birleşimi olan karışık eksantriklik(KE) durumları simüle edildi. FEM kullanarak sağlıklı bir motorun sonuçları ile bu motora ait oluşturulan farklı arıza şiddetlerinin sonuçları karşılaştırıldı ve özellik çıkarımı için geleneksel olan spektral analiz yöntemi olan FFT analizi gerçekleştirildi.

Yüksek seviyede statik eksantriklik, rotorun merkezinin dönme merkezinde olmadığı ve minimum hava boşluğunun pozisyonu rotorla birlikte döndüğü yerlerde dinamik dış merkezliliğe yol açabilir. Hava aralığı eksantrikliği, spesifik yüksek ve düşük frekanslarda stator akımı harmoniklerini indükler. (Dorrell, Thomson, & Roach, Analysis of airgap flux, current, and vibration signals as a function of the combination of static and dynamic airgap eccentricity in 3-phase induction motors, Jan/Feb 1997) İlgilenilen yüksek frekanslı bileşenler,

$$f_{HE} = \frac{1-s}{p} (kR \mp n_d v) f_s \quad (1)$$

k bir tam sayı ve nd Statik eksantriklik için = 0 ve nd= Dinamik durumlar için 1, 2 veya 3. Ayrıca, hem statik hem de dinamik eksantriklikler bir arada mevcutsa, hava boşluğu ile ilgili başarısızlıkların çoğunda, temel frekansın yanında düşük frekanslı bileşenler olacaktır.

$$f_{LE} = f_s \mp k f_r \quad (2)$$

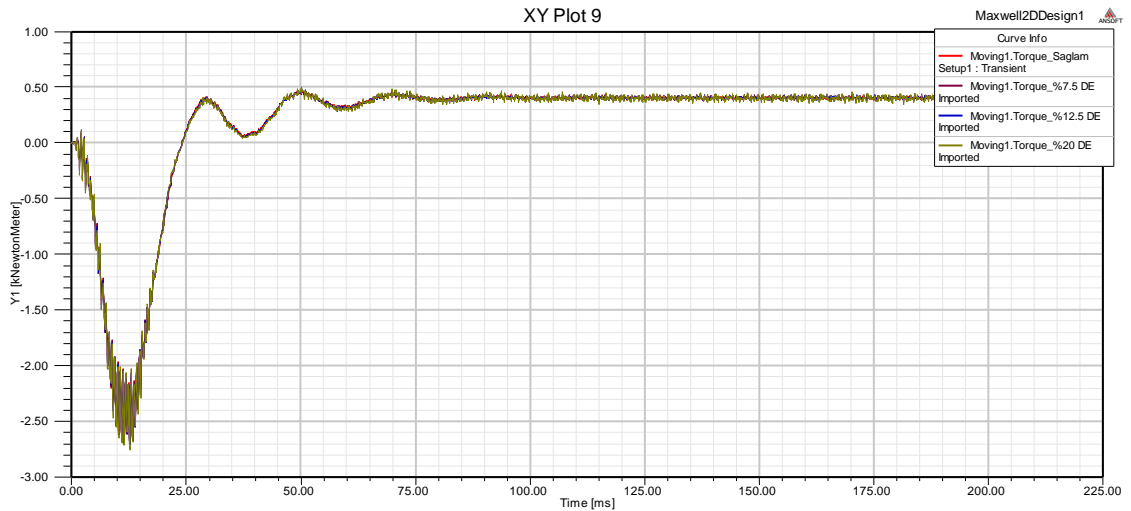
Karışık eksantriklik durumunda, stator titreşim sinyalinde düşük frekanslı bileşen de tespit edilebilir. (Esfahani, Wang, & Sundararajan, 17 May 2013)

$$f_{VE} = 2f_s \mp f_r \quad (3)$$

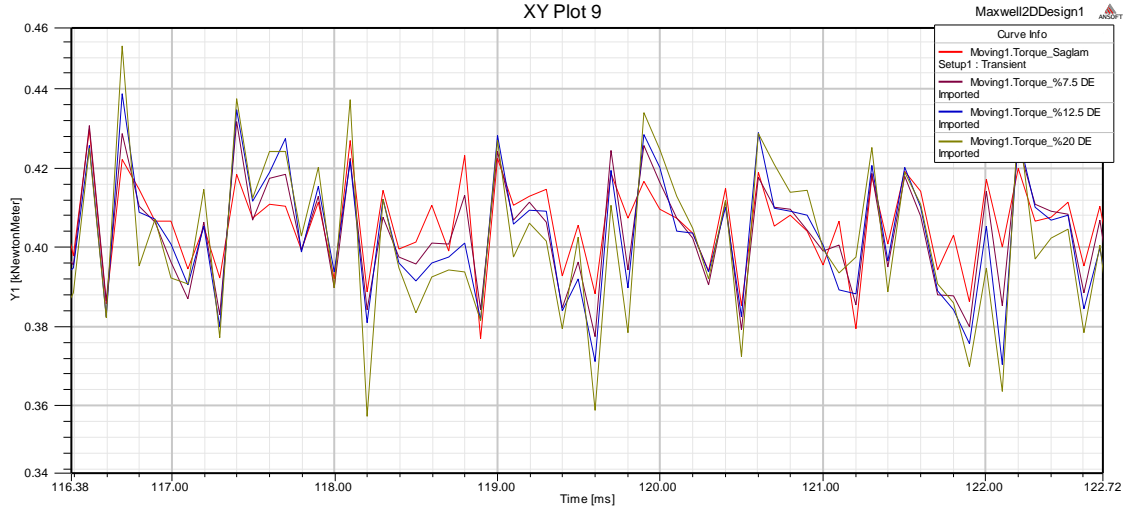
Bir makinenin uzun süre dengesiz bir yükte kritik bir hızda çalıştırılması, özellikle büyük makinelerde dinamik eksantrikliğe (DE) yol açar (Joksimovic, Durovic, Penman, & Arthur, June 2000). Dinamik eksantriklik, statorun merkezi ve dönme merkezinin aynı olduğu ancak stator merkezi ile rotor merkezinin farklı olduğu durumlarda ortaya çıkan dengesiz manyetik çekmeye neden olan istenmeyen bir durumdur. Arıza şiddetinin büyümesi makine üzerinde verimin düşmesine, makinenin ilk durum çıkış performansını korumaması ve zamanla tamamen durmasına yol açar. Bu durum işletme açısından hem kesintili iş gücüne hem de yerine getirilecek makine için ek bir maliyete sebep olacaktır. Bunun yanında arıza henüz başlama durumunda olsa dahi o arızanın teşhisi teknik bir birikim gerektirdiğinden makinenin bakımı yine ek bir maliyet gerektirir. Keza bu arıza sürecinde zaman kaybı da en önemli sonuçlardan biridir.

3.2.1. Dinamik Eksantriklik Arızası

Bu bölümde dinamik eksantriklik sonlu elemanlar yöntemi ile simüle edildi. Bu motor DE'ğin farklı arıza şiddetleri altındaki çıkış sinyalleri ile sağlıklı motor çıkış sinyalleri karşılaştırıldı. Rotor x ve y yönünde kaydırılarak stator ve rotor arasında değişken hava aralığı oluşturulurken shaftın stator merkezinde tutulması, dolayısıyla rotorun dengesiz bir hava aralığı ile stator merkezinin etrafında dönmesi ile DE arızası elde edildi. DE arızası için rotor stator ekseninden 0.08mm, 0.05mm ve 0.03mm kaydırılarak sırasıyla %20, %12.5 ve %7.5 şiddetinde farklı arıza durumları oluşturulmuştur. Asenkron motorun hava aralığı 0.4mm olarak ve bu %100 eksantriklik arızası olarak referans alındığında yukarıda belirlenen arıza yüzdeleri oluşturulan kaymalara oransal bir işlem uygulanarak belirlendi. FEM'in izin verdiği Geometri Eksantrik durumun en yüksek derecesinin %22 olduğu tespit edildi. Bundan dolayı oluşturulabilecek maksimum eksantriklik durumu için %20 lik kayma seçilmiştir.

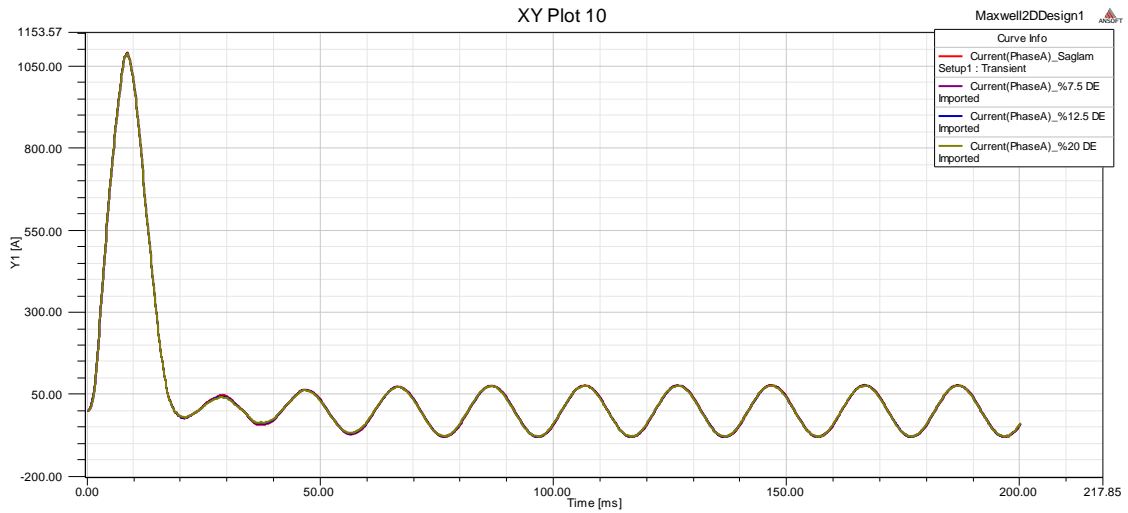


Şekil 0.5. Asenkron motorun farklı DE arıza şiddetlerine ait üst üste bindirilmiş tork dalga formları

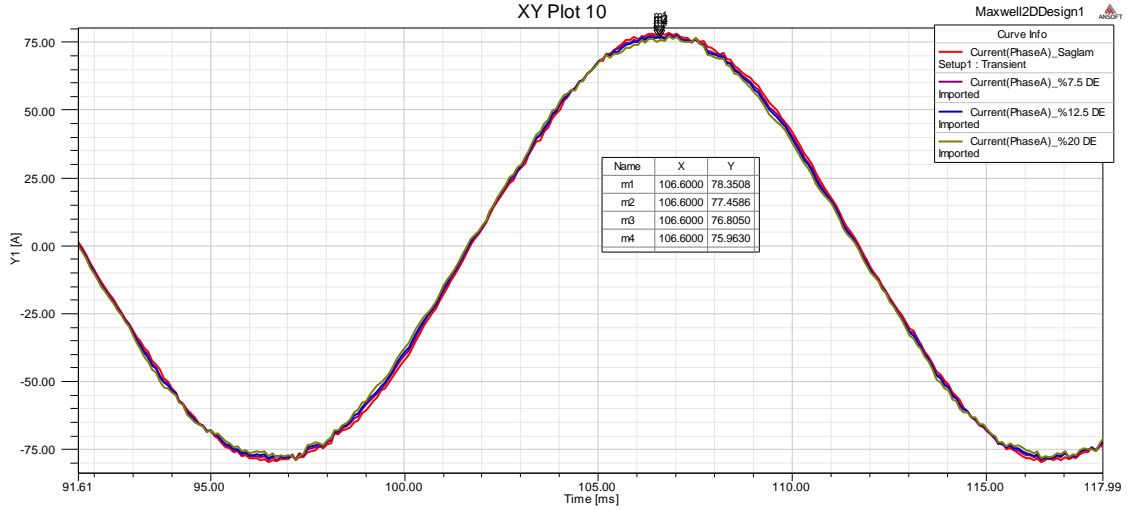


Şekil 0.6. Asenkron motorun farklı DE arıza şiddetlerine ait çözünürlüğü artırılmış tork dalga formları

Akı dağılımı ve asenkron motorun akımları hava boşluğu torkunu üretir. Eksantriklik hatalar dengesiz bir manyetik çekme oluşturur ve bu durumun hava boşluğu torkuna etkisi olacaktır. Stator dönen alanı sabit bir tork üretir, manyetik alanların rotasyonel etkisi göz önüne alındığında kuvvetin döndürme etkisi ile rotorda da döndürülme ile oluşan bir tork meydana gelir. Rotor ve stator alanlarını toplamı net manyetik alanı oluşturduğunda rotor alanındaki bir değişim doğrudan çıkış torku üzerinde salınımlara neden olacaktır. Yukarıdaki çözünürlüğü artırılmış tork sinyalinden de görüldüğü gibi DE şiddetinin artmasıyla torktaki salınım artışı gözlemlenebilir. Kırmızı renkteki eğri sağlam motora ait iken yeşil renkteki eğri bu bölümde alınan %20 DE (Max) arıza şiddetine aittir. Ve %20 DE arızasına ait sinyalin torktaki salınımı ve kararsızlığı ortadadır. Ancak bu üst üste bindirilmiş sinyal formundan torktaki artış veya azalıştan söz etmek yanlış olacaktır. Arızaya ait tork sinyallerinden bahsederken salınım ve titreşimlerden bahsetmek ve dolayısı ile sinyal üzerindeki parazitlenmelerden bahsetmek daha doğru olacaktır. Bu çıkarımlardan yola çıkarak ve daha önceki diğer çalışmalar göz önüne alındığında uygun sinyal işleme tekniği ile özellik çıkarımı arıza teşhisi açısından oldukça önemlidir.

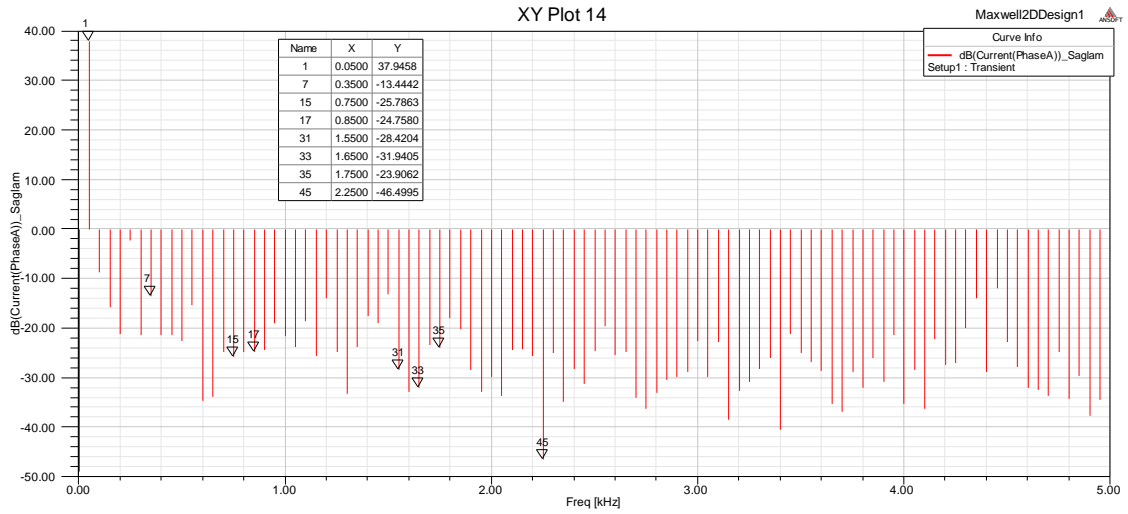


Şekil 0.7. Asenkron motorda dinamik eksantriklik (DE) arıza şiddetlerinin üst üste bindirilmiş akım dalga formları

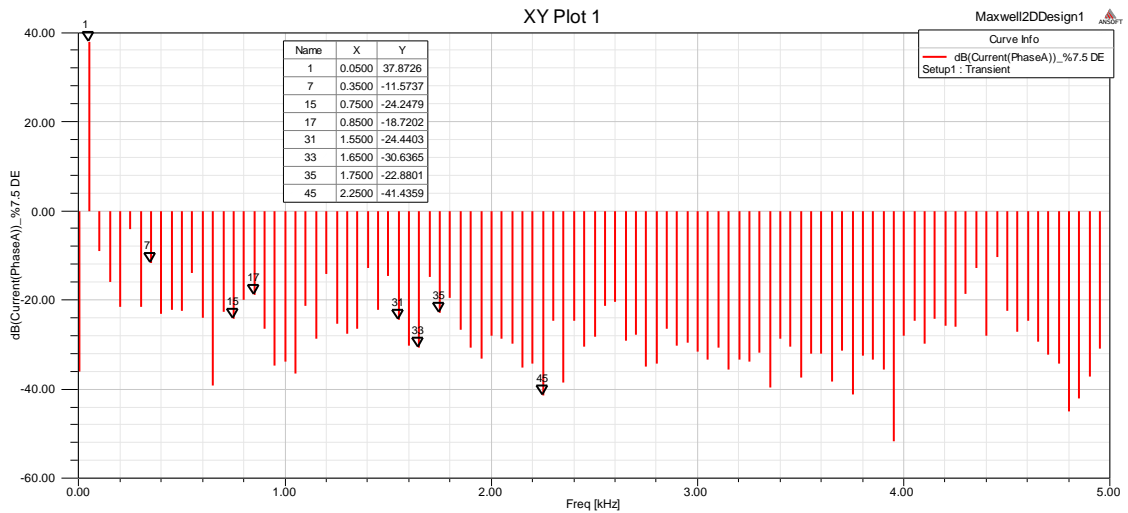


Şekil 0.8. Asenkron motorun farklı DE arıza şiddetleri için A fazına ait çözünürlüğü artırılmış akım dalga formları

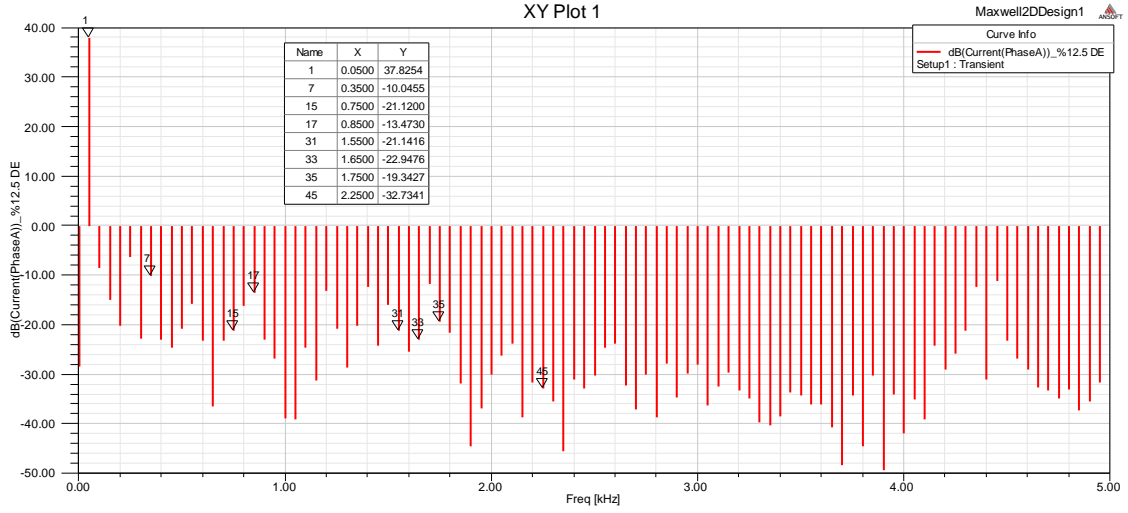
Akım sinyal formunda da yine aynı şekilde salınımlar mevcuttur. Arıza şiddeti arttıkça motorun çektiği maksimum akımda azalma görülürken akım sinyalinde parazitler artmaktadır. Ancak bu değişimler özellik çıkarımı için yeterli değildir. Bu bozulma, stator akımı spektrumunda, özellik çıkarma ve desen tanıma için kullanılacak özellik çıkarımı için hızlı bir sinyal işleme tekniğinden sonra sınıflandırma için işlenmiş verilerimiz hazır olacaktır. Farklı DE arıza şiddetlerine ait stator akım sinyallerine uygulanan FFT sonuçları aşağıda verilmiştir.



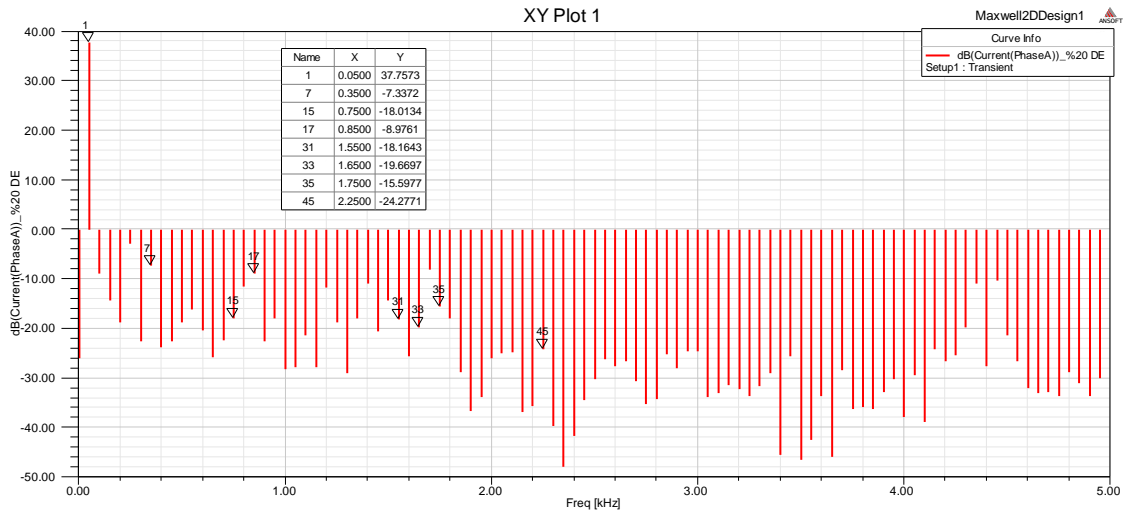
(a)



(b)



(c)

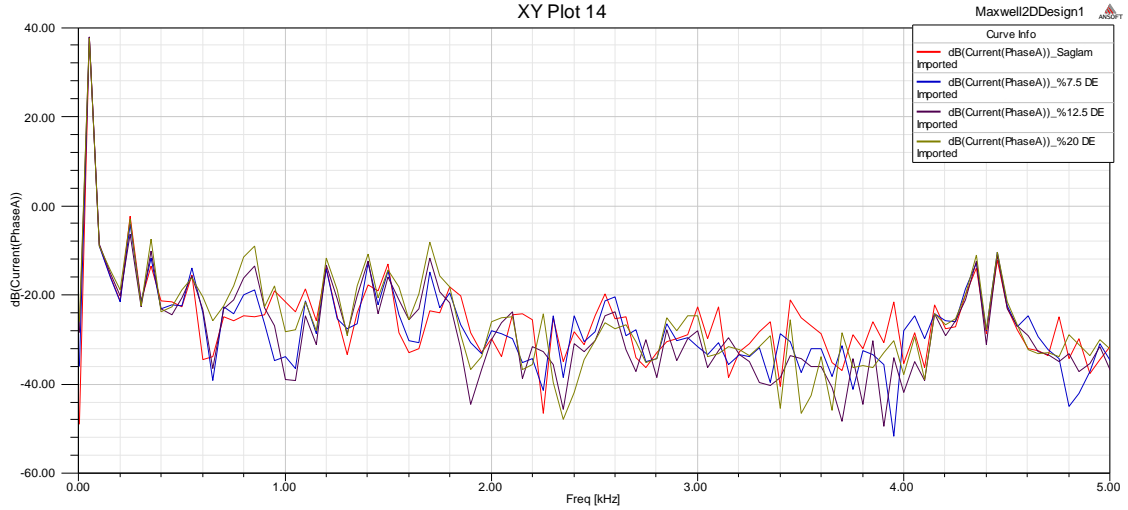


(d)

Şekil 0.9. Asenkron motor dinamik eksantriklik (DE) arızasına ait FFT spektrumu a)sağlam motor b)%7.5 DE c)%12.5 DE d)%20 DE

Tablo 0.3. Asenkron motor DE arızası öz nitelik çıkarımı için tespit edilmiş bazı önemli harmonikler

Harmonik (fs)	Sağlam	%7.5 DE	%12.5 DE	%20 DE
	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)
1	37.94582	37.87257	37.82535	37.75730
7	-13.44420	-11.57374	-10.04547	-7.33722
15	-25.78633	-24.24786	-21.11998	-18.01339
17	-24.75795	-18.72016	-13.47301	-8.97608
31	-28.42038	-24.44034	-21.14159	-18.16426
33	-31.94051	-30.63646	-22.94764	-19.66971
35	-23.90621	-22.88012	-19.34266	-15.59770
45	-46.49955	-41.43592	-32.73406	-24.27707

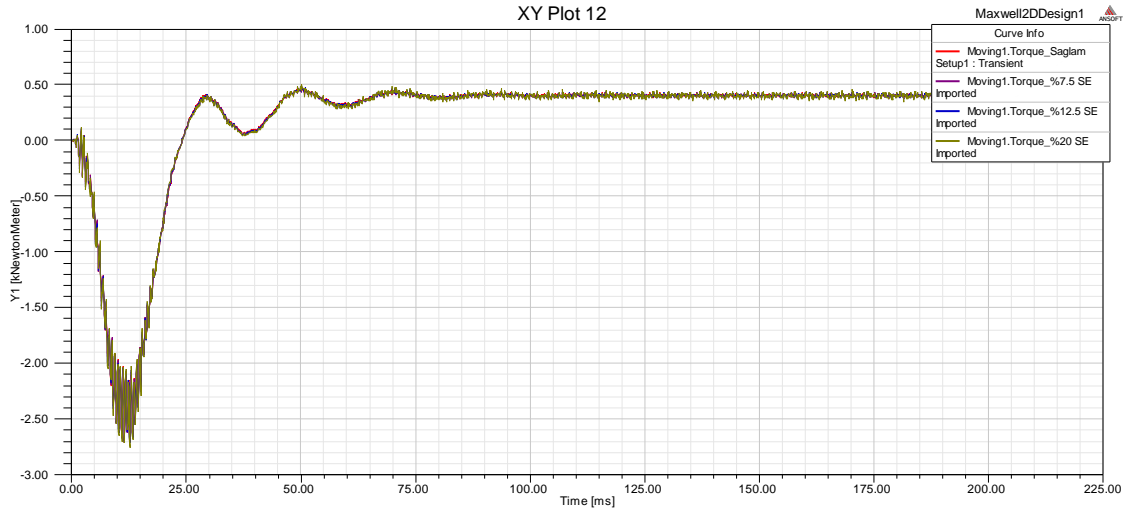


Şekil 0.10. Asenkron motorun DE arızasının farklı şiddetlerine ait sürekli FFT sinyalleri

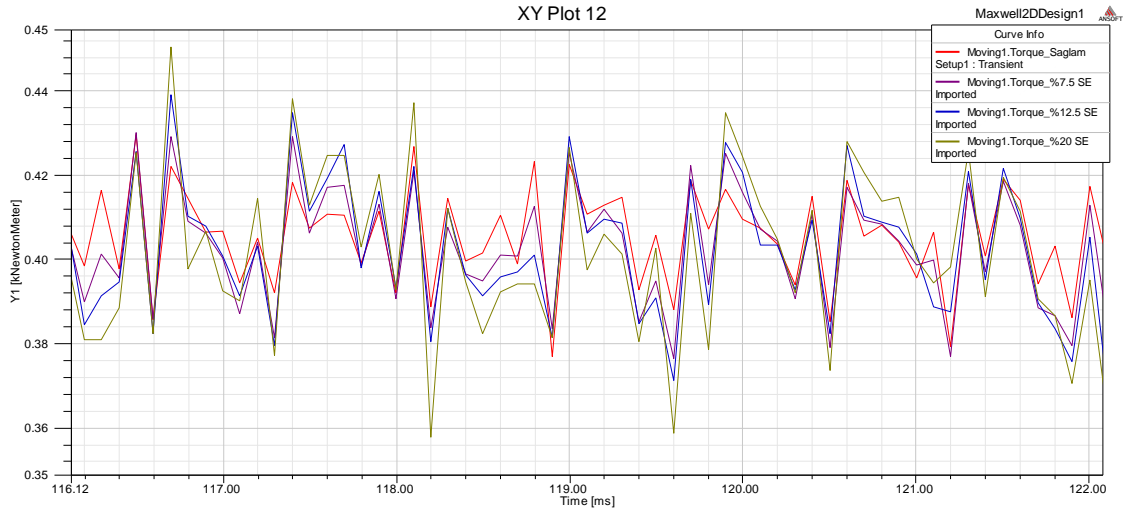
Motorun tam yüklenme durumu için simüle edilmiş DE arızasına ait stator çıkış sinyallerine uygulanmış FFT sonuçları yukarıda verilmiştir. Yukarıdaki tabloda bazı önemli harmonikler belirtilmiştir. Tespit edilen harmoniklerde genel olarak arıza şiddeti artıkaça temel frekans dahil olmak üzere harmonik genliklerinde azalmalar oluşmuştur. Bu azalmalardaki değişimler arıza sınıflandırma açısından oldukça iç açıcıdır.

3.2.2. Statik Eksantriklik Arızası

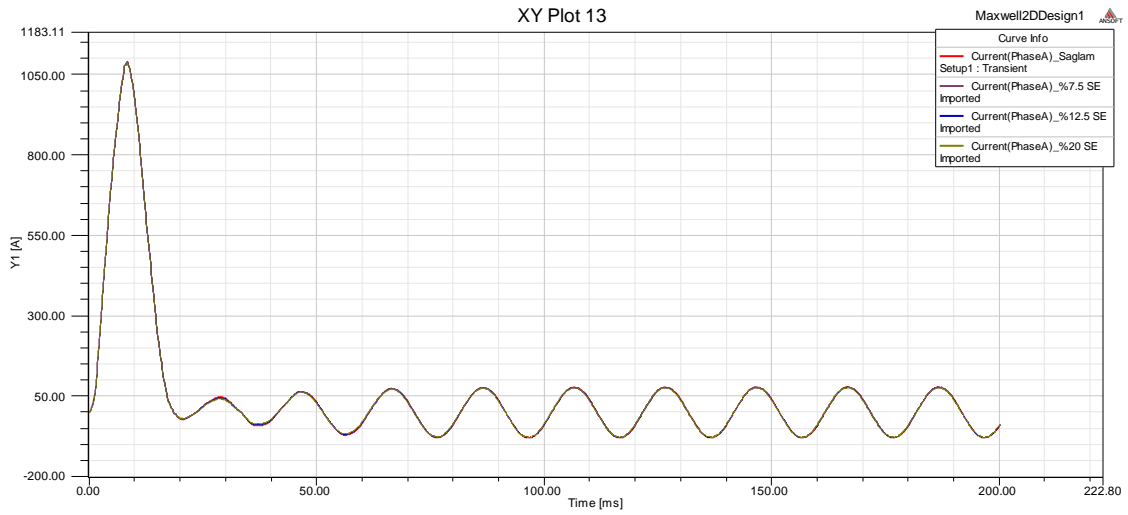
Statik eksenden kaçıklık arızası hava aralığındaki dengeli akı dağılımını bozarak motor içerisinde asimetric akı dağılımına neden olur. Bu durum hava aralığı manyetik akı dağılımında ek harmonik bileşenlere ve tork sinyallerinde salınımlar beklenmektedir. SE arızası için rotor eksenini stator ekseninden 0.08mm, 0.05mm ve 0.03mm kaydırılarak sırasıyla %20, %12.5 ve %7.5 şiddetinde farklı arıza durumları oluşturulmuştur. SE arızası durumunda rotorun merkezi stator merkezinden ayrılmış ve kendi etrafında dönmesi ile oluşturulan dengesiz manyetik kuvvetler incelenmiştir.



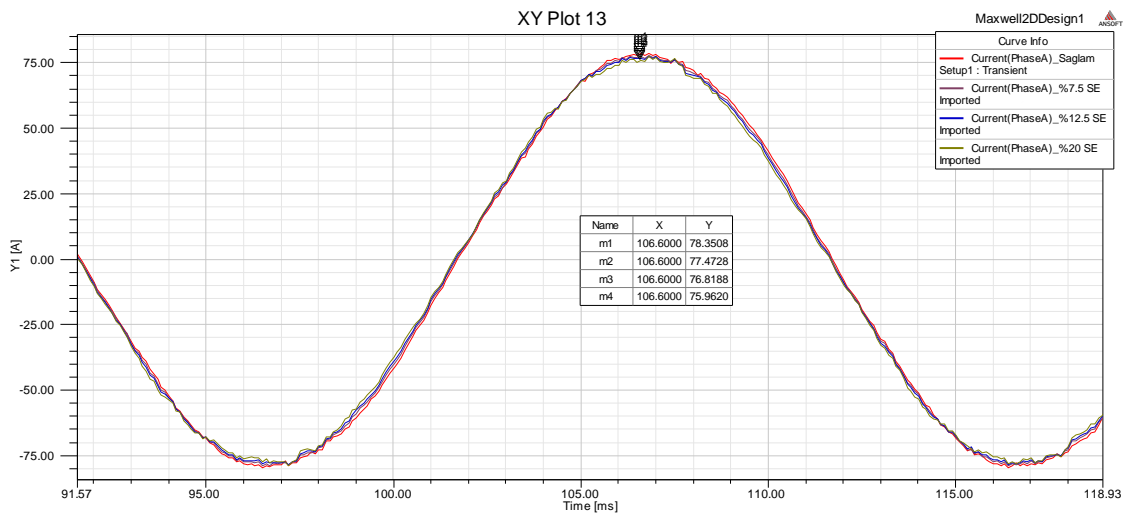
Şekil 0.11. Asenkron motorun Farklı SE arıza şiddetlerine ait üst üste bindirilmiş tork dalga formları



Şekil 0.12. Asenkron motorun farklı SE arıza şiddetlerine ait tork dalga sinyallerinin çözünürlüğü artırılmış formları



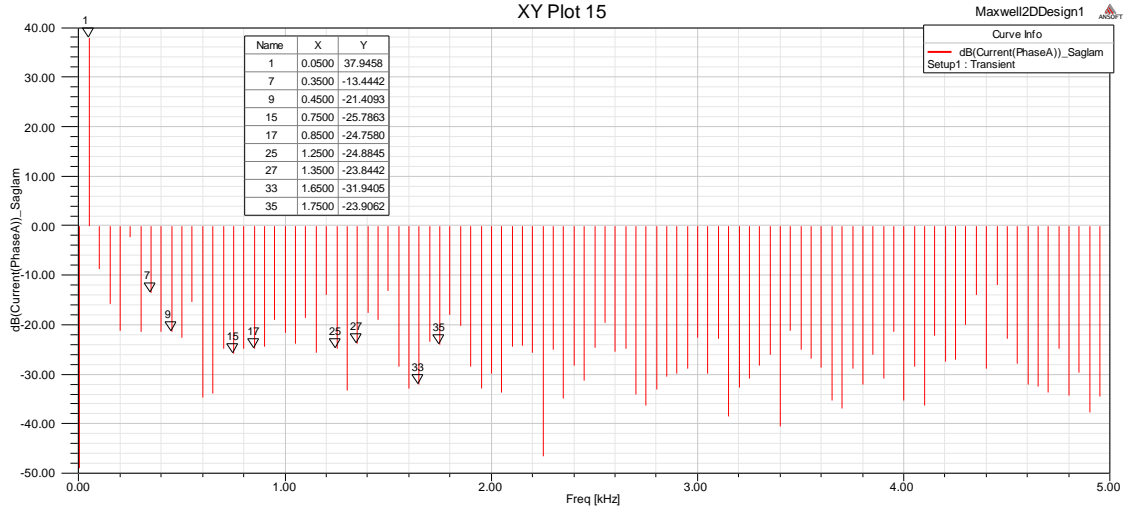
Şekil 0.13. Asenkron motorda SE arıza şiddetlerinin üst üste bindirilmiş akım dalga formları



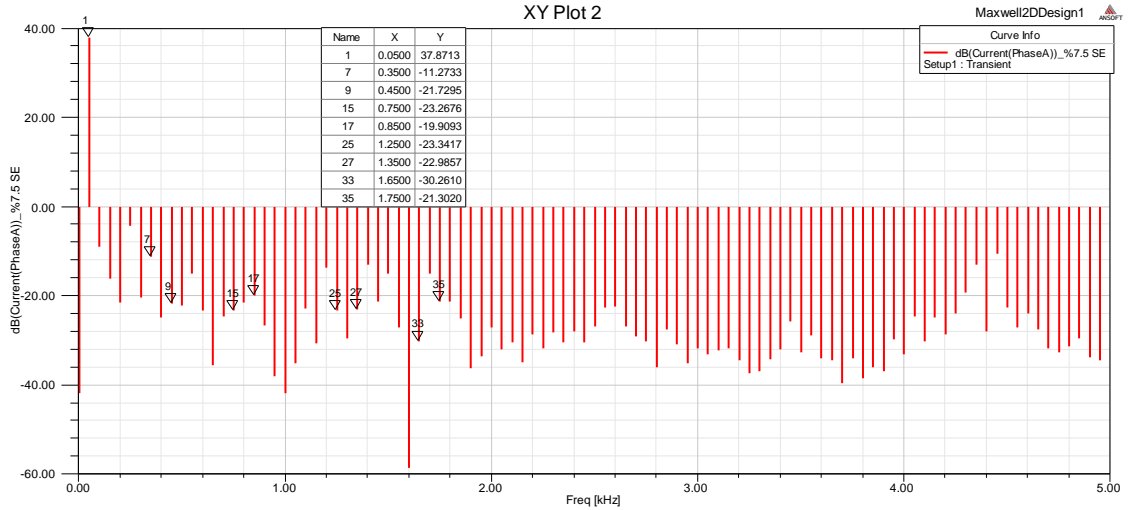
Şekil 0.14. Asenkron motorun farklı SE arıza şiddetleri için A fazına ait çözünürlüğü artırılmış akım dalga formları

Yapılan karşılaştırmalar sonucu akım ve tork sinyallerinin genlik değerlerinde arıza şiddetinin büyümesi ile birlikte belirgin bir değişme olmadığı görülmüştür. Ancak tork sinyallerinde salınımlar ortaya çıkmakta ve bu salınım tepe değerleri arıza miktarı ile birlikte artmaktadır. Şekil 3.16'da tork sinyalinin çözünürlüğü artırılarak arıza şiddetinin artışı ile sinyallerdeki bozulmalar

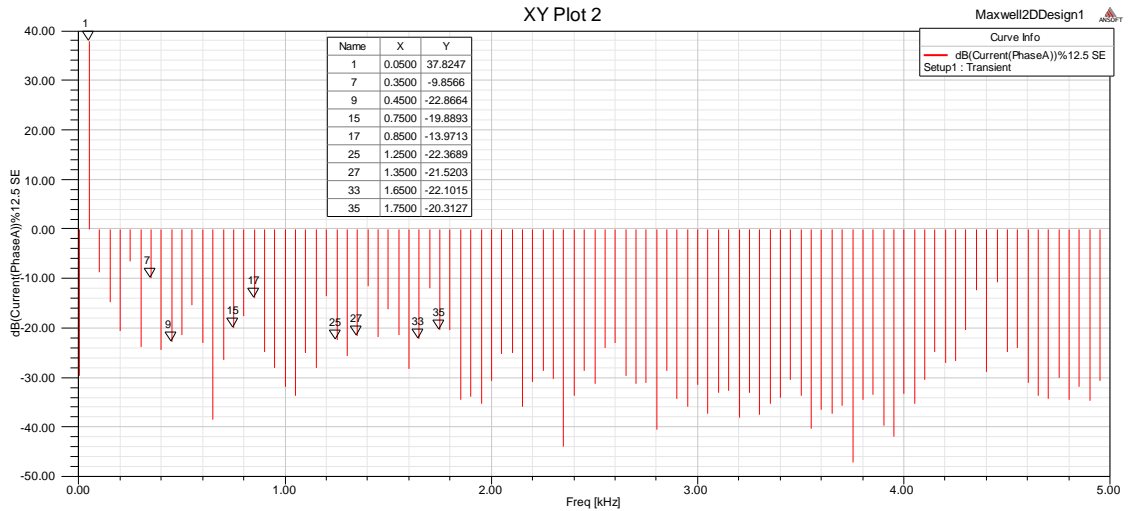
gösterilmiştir. Arıza bilgisini taşıyan ilgili özellikler, SEY ile simüle edilen arıza şiddetlerine ait stator çıkış sinyallerindeki spektral analiz sonuçlarına bağlıdır. Hata bilgisini çıkarmak için, özellik çıkarma yöntemi motorun sağlıklı durumu ile arızalı durumları arasındaki hata karakteristik frekanslarındaki değişimine dayanır. Arıza teşhisinde arızanın başlangıç aşamasındayken dolayısıyla çok küçük arıza şiddetlerinin doğru tespiti kestirimci bakımın önemini artıracaklarını söyleyebiliriz. SE arıza şiddetlerine ait statorun A fazına uygulanmış FFT analiz sonuçları aşağıda verilmektedir.



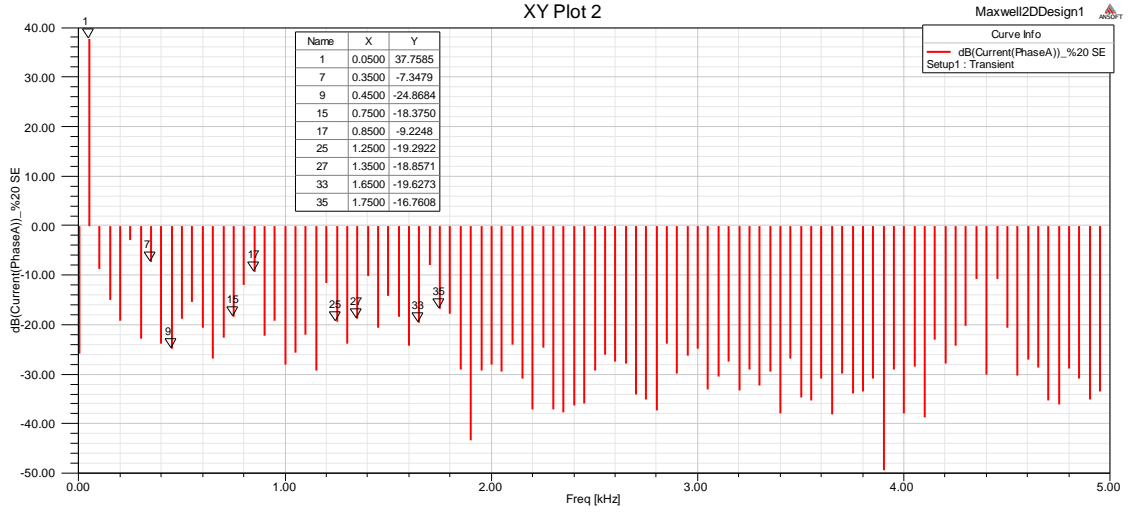
(a)



(b)



(c)

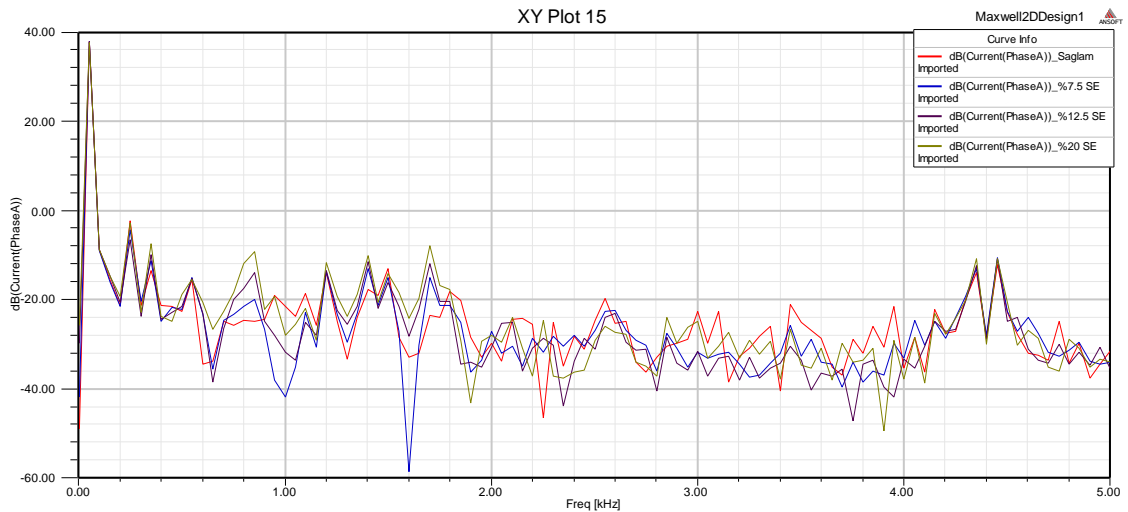


(d)

Şekil 0.15. Asenkron motor dinamik statik(SE) arızasına ait FFT spektrumu a)sağlam motor b)%7.5SE c)%12.5SE d)%20SE

Tablo 0.4. Asenkron motor SE arızası öz nitelik çıkarımı için tespit edilmiş bazı önemli harmonikler

Harmonik (fs)	Sağlam	%7.5 SE	%12.5 SE	%20 SE
	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)
1	37.94582	37.87131	37.82465	37.75845
7	-13.44420	-11.27332	-9.85656	-7.34794
9	-21.40932	-21.72947	-22.86643	-24.86835
15	-25.78633	-23.26761	-19.88928	-18.37500
17	-24.75795	-19.90927	-13.97132	-9.22476
25	-24.88449	-23.34171	-22.36890	-19.29222
27	-23.84419	-22.98573	-21.52027	-18.85715
33	-31.94051	-30.26101	-22.10148	-19.62734
35	-23.90621	-21.30201	-20.31275	-16.76076



Şekil 0.16. Asenkron motorun statik eksantriklik (SE) arızasının farklı şiddetlerine ait sürekli FFT sinyalleri.

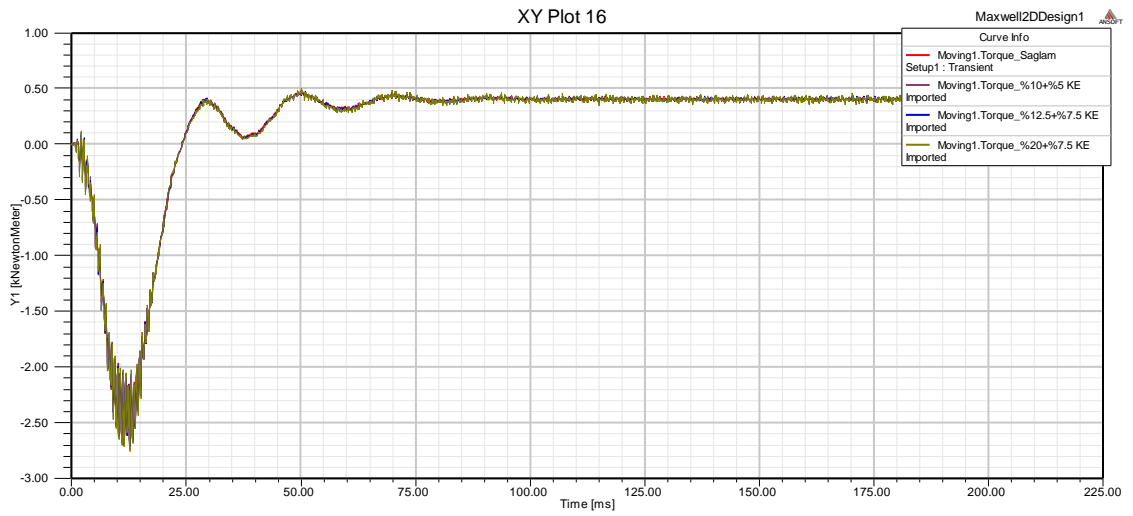
Bu grafiklerde, temel frekanslar ile beraber bu frekansın katlarındaki karakteristik frekansların, farklı genliklere sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu değişimler motorda SE arızasının teşhisine izin verir. Yukardaki karşılaştırmak amaçlı oluşturulan bazı önemli harmonikler arıza tespiti için tablo şeklinde gösterilmiştir. Ve görüldüğü gibi sadece dokuzuncu harmonik dışındaki harmoniklerde arıza şiddetinin artması ile harmonik genliklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Özellik çıkarımı için harmoniklerdeki

değişimin yeterli bilgiye sahip oldukları açıktır. Bu durumda zaman domenindeki anlamsız verilerin spektral analizdeki karşılıklarının arıza teşhis kısmında yani veri madenciliği bölümünde oldukça etkili sonuçlar verdiğini göreceğiz.

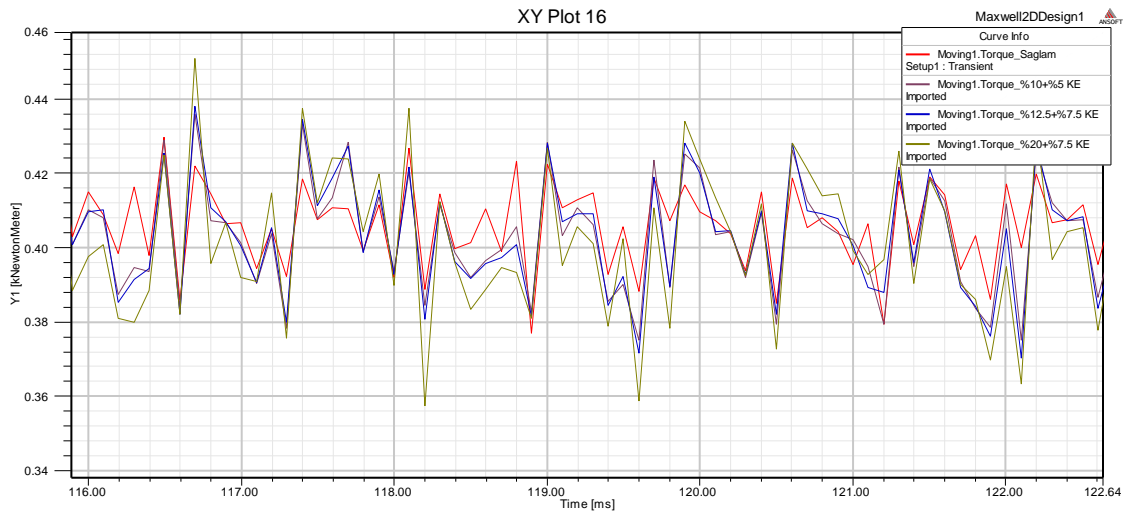
3.2.3. Karışık Eksantriklik Arızası

Hem statik hem de dinamik eksantriklikler varsa, eksantrikliğe karışık bir eksantriklik denir. Rotorun dönme eksenini hem stator ekseninden hem de kendi ekseninden ayrılarak Karışık eksantriklik durumu oluşturulmuştur. Sincap kafesli asenkron motorun rotoru orijinden x ve y yönünde kaydırılarak şaftın eksenini stator ile rotor merkezinin arasında bir yerde konumlandırılarak KE arızası modellendi. Bu durumda rotor kendi eksenini etrafında dönmediği gibi stator merkezinde de dönmüyordur. Bu bölümde farklı üç arıza şiddeti oluşturulmuştur. En düşük arıza şiddeti; rotor eksenini x-y yönünde hava aralığının %10 kadar kaydırılarak şaft x-y yönünde hava aralığının %5 kadar kaydırılarak oluşturulmuştur. (KE=%10+%5) Diğer iki arızada şiddeti artırılmış bir şekilde modüle edilmiştir. Döner alanlı elektrik makinelerinde izin verilen maksimum eksantriklik derecesi %5 olduğundan en düşük eksantriklik derecesi olarak KE=%10+%5 seçilmiştir.

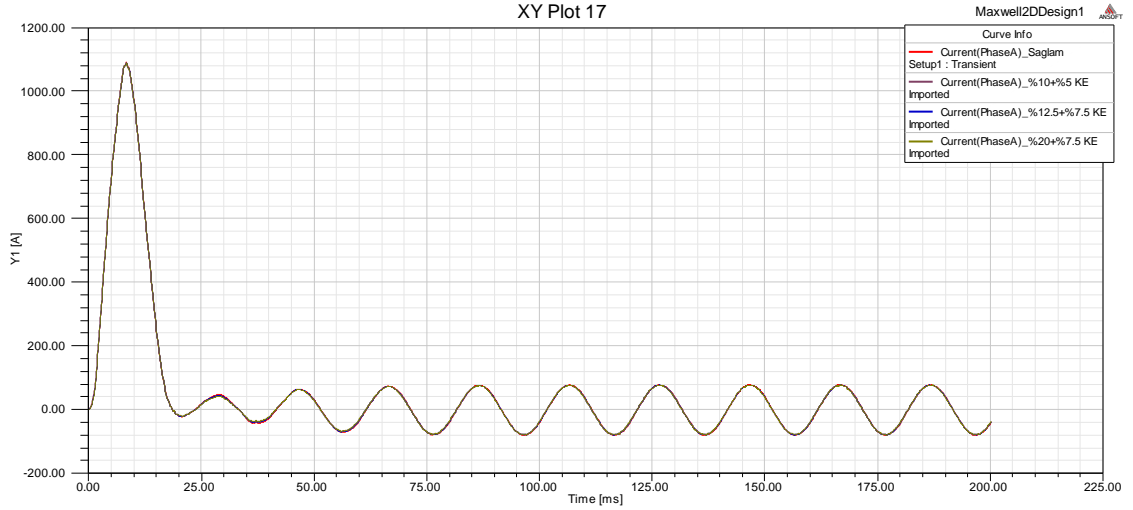
Bu yaklaşım ele alınarak farklı şiddetlerde oluşturulmuş eksantriklik arızaları Aşağıda akım ve tork sinyallerinin zaman domeninde analizi gerçekleştirilmiştir.



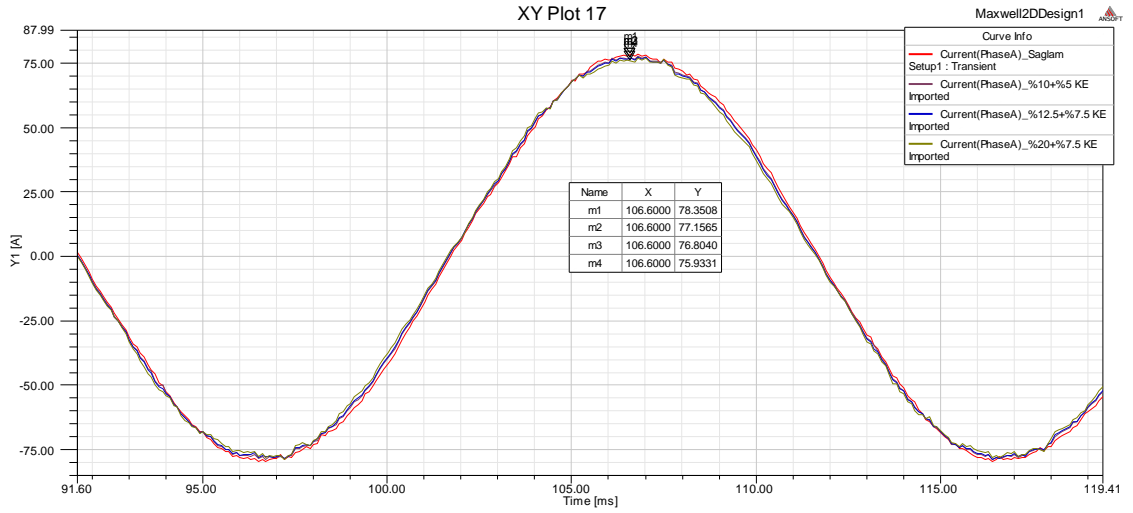
Şekil 0.17. Asenkron motorun Farklı KE arıza şiddetlerine ait üst üste bindirilmiş tork dalga formları



Şekil 0.18. Asenkron motorun farklı KE arıza şiddetlerine ait çözünürlüğü artırılmış tork dalga formları

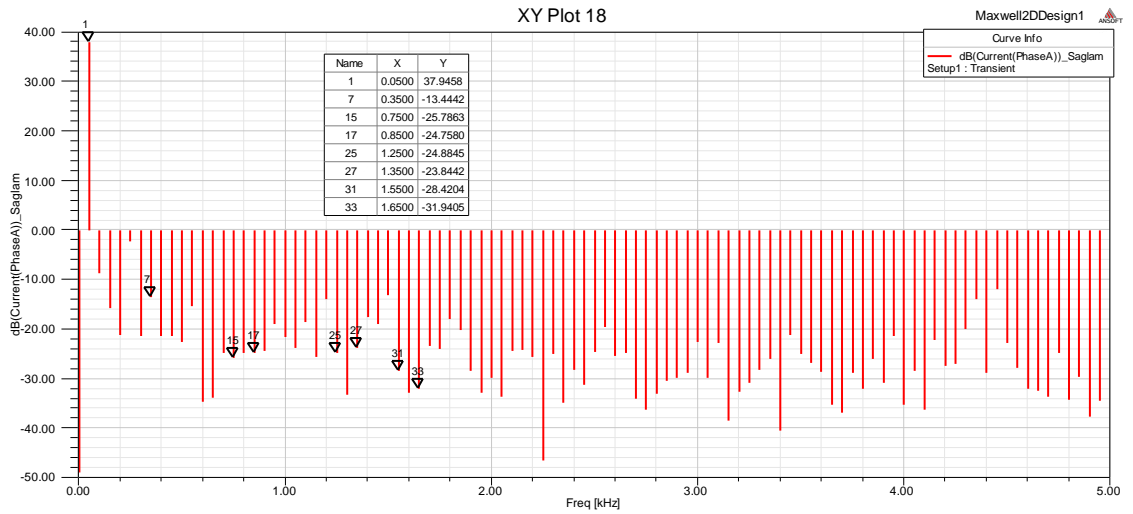


Şekil 0.19. Asenkron motorda KE arıza şiddetlerinin üst üste bindirilmiş akım dalga formları

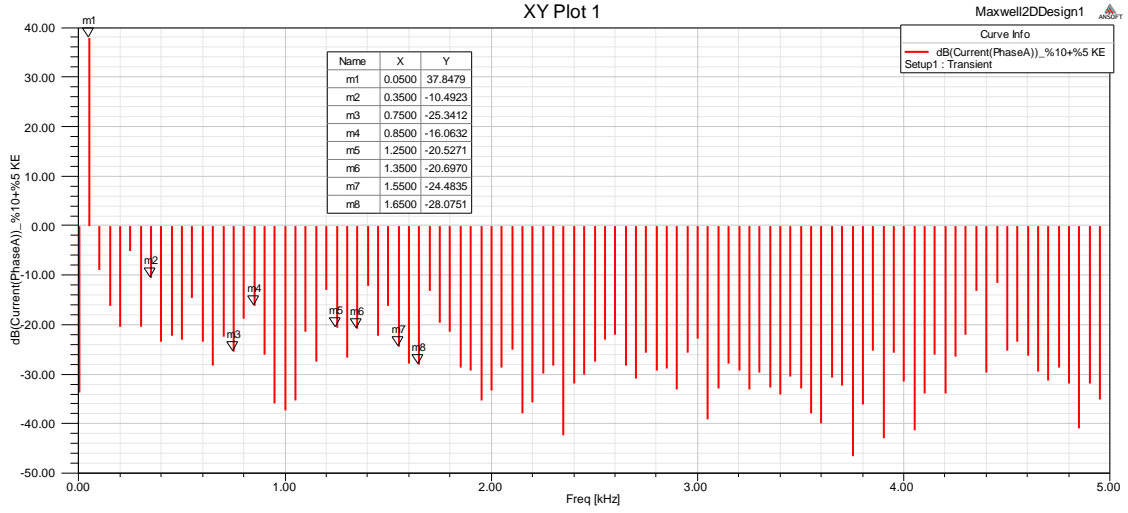


Şekil 0.20. Asenkron motorun farklı KE arıza şiddetleri için A fazına ait çözünürlüğü artırılmış akım dalga formları

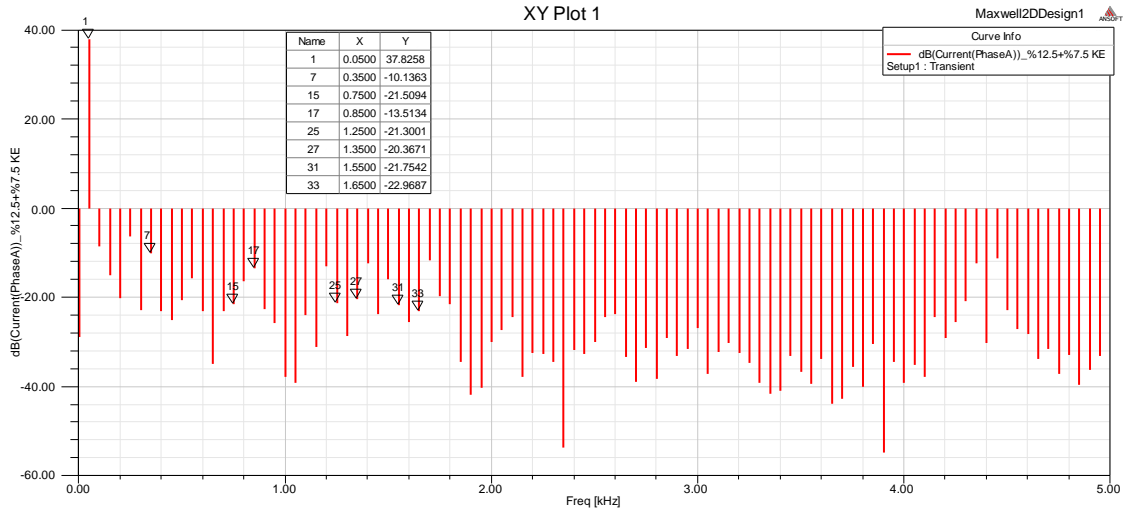
KE arıza şiddetlerine ait statorun A fazına uygulanmış FFT analiz sonuçları aşağıda verilmektedir.



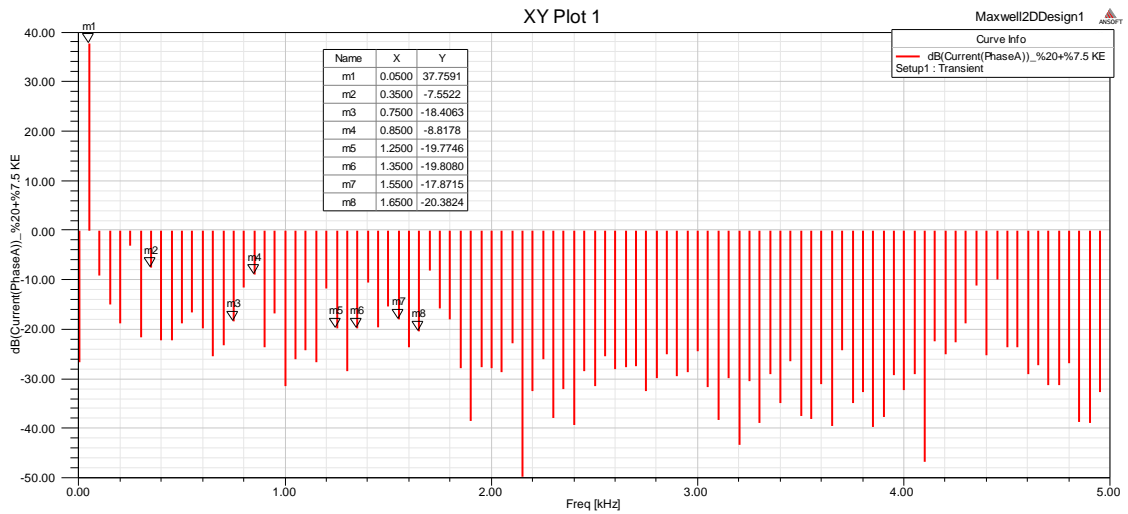
(a)



(b)



(c)

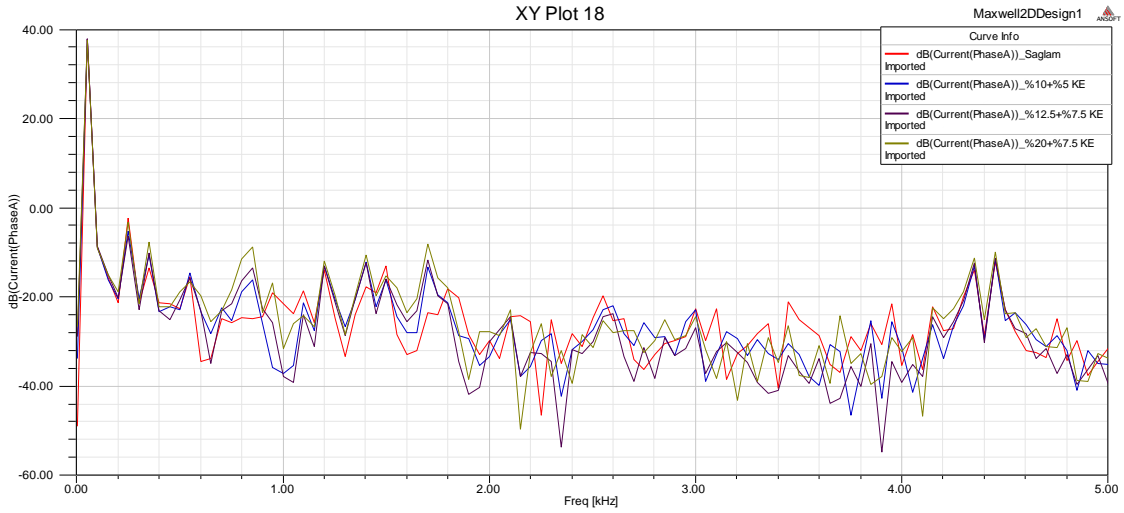


(d)

Şekil 0.21. Asenkron motor karışık eksantriklik(SE) arızasına ait FFT spektrumu a)sağlam motor a)sağlam b)%7.5SE c)%12.5SE d)%20SE

Tablo 0.5. Asenkron motor KE arızası öz nitelik çıkarımı için tespit edilmiş bazı önemli harmonikler

Harmonik (fs)	Sağlam	%10 +%5 KE	%12.5+%7.5 KE	%20 +%7.5 KE
	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)	dB(PhaseA)
1	37.94582	37.84789	37.82580	37.75906
7	-13.44420	-10.49231	-10.13633	-7.55215
15	-25.78633	-25.34124	-21.50937	-18.40633
17	-24.75795	-16.06320	-13.51344	-8.81781
25	-24.88449	-20.52711	-21.30010	-19.77456
27	-23.84419	-20.69703	-20.36713	-19.80803
31	-28.42038	-24.48353	-21.75417	-17.87146
33	-31.94051	-28.07512	-22.96870	-20.38240



Şekil 0.22. Asenkron motorun KE arızasının farklı şiddetlerine ait sürekli FFT sinyalleri

SEY'inde rotorun hareketi hareketli bandın gösterdiği davranışla değişmektedir. KE arızasında rotorun merkez konumu, rotor merkezi ile stator merkezi arasında modele sabit bir hızda dairesel bir yol boyunca hareket etmeye zorlanır. Eksantriklik nedeniyle motorun özellikleri üzerindeki bazı olumsuz etkiler şunlardır; verimlilik azaldığı için güç kayıpları artar, Sargıların sıcaklığı artar, Hız ve torktaki değişiklikler artar.

4. Oluşturulan Arızalara Genel Bir Bakış ve Test Motorunun Modellenmesi

Weka, Waikato Üniversitesinin ürünüdür ve ilk olarak 1997 yılında modern haliyle uygulanmıştır. Bu makine öğrenme (ML) paketi, halka açıktır ve gerçek dünyadaki veri madenciliği sorunlarını çözmek için algoritmalar koleksiyonu sunar. Yazılım tamamen Java ile yazılmış ve standart ML tekniklerinin bir dizi standart bir arayüz içerir. Weka'daki birincil öğrenme yöntemleri "sınıflandırıcılar" dır ve verileri modelleyen bir kural kümesi veya karar ağacı oluştururlar. Weka ayrıca kurallarını ve kümelene verilerini öğrenmek için algoritmalar da içerir. Tüm uygulamalarda tek biçimli bir komut satırı arayüzü vardır. Ortak bir değerlendirme modülü ile belirli bir veri setine göre birkaç öğrenme algoritmasının göreceli performansını ölçer (FeyzaGürbüz, October 2018). Geleneksel yöntemler kullanılarak çözülmesi çok zaman olan problemlere veri madenciliği süreci kullanılarak daha hızlı bir şekilde çözüm bulunabilir. Veri madenciliğinin temel amacı elimizde bulunan veriden gizli kalmış örüntüleri çıkarmak, verinin değerini arttırmak ve veriyi bilgiye dönüştürmektir (Adem, 2 - 4 Şubat 2011). WEKA, ham verinin işlenmesi, öğrenme metodlarının veri üzerinde istatistiksel olarak değerlendirilmesi, ham verinin ve ham veriden öğrenilerek çıkarılan modelin görsel olarak izlenmesi gibi veri madenciliğinin tüm basamaklarını destekler. Geniş bir öğrenme algoritmaları yelpazesine sahip olduğu gibi pek çok veri ön işleme filtreleri içerir.

Bu çalışmada Weka programı ile arızaların şiddetini test etmede yapay sinir ağları kNN, MLP ve RT sınıflandırma yöntemleri olarak seçilmiş ve doğruluk yüzdesi açısından uygun görülmüştür. Tüm sınıflandırıcı algoritmalar doğruluk oranları ve işlem süreleri farklılık gösterse bile benzer mantıkla çalışmaktadır. Çalışmada farklı arıza şiddetlerine bağlı akımların spectral analizi sonucu ile elde edilen harmonik genlikleri giriş verileri olarak arıza tespiti eğitiminde kullanılmıştır.

Motor arıza teşhisi eğitiminde giriş verileri olarak spektral analiz sonucu elde edilen 100 harmonik değeri giriş değer kabul edilmiştir. Oluşturulan on dört arıza şiddeti ve sağlam lam durum ile beraber on beş çıkış durumu vardır. Bu durumda 100×15'lik bir matris oluşturularak sınıflandırma metodları uygulanmak üzere hazırdır. Aynı arıza imzası eğitim, test ve doğrulama verisi olarak

kullanılarak eğitilen makina öğrenme algoritmalarının doğruluk tahmininde uygun görülen üç tekniğin sonucu Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 0.6. Asenkron motorda oluşturulan tüm arızaların sınıflandırma yöntemlerinin karşılaştırılması.

Asenkron Motor Arıza Sınıflandırma Özeti	k	M	R
	N	L	T
	N	P	
Doğruluk Yüzdesi (%)	100	100	100
Kappa İstatistiği	1	1	1
Ortalama Mutlak Hata	0.07	0.01	0
Kök Ort. Kare Hatası	0.13	0.027	0
Göreceli Mutlak Hata(%)	50	10.06	0
Kök Bağ. Kare Hatası(%)	50	10.5	0
Doğru Sınıflandırılmış Örnekler	14	14	14

5. Sonuç

Bu çalışmada motor arıza teşhis sistemi; arıza oluşturacak motorun FEM ile tasarımı, test motoru üzerinden arızalı motor modeli oluşturma, veri toplama sistemi, sinyal işleme, öznitelik çıkarma ve arıza bilgi tabanına makine dili ile arızaya teşhis koyma adımlarından oluşmaktadır. Klasik bir zaman serisi analizi ya da anlamsız verileri filtrelemek üzere alınan hızlı bir veri işleme teknikleri ile elde edilen veriler incelenmektedir. Makine performansının arıza başlangıç aşamasında iken arıza durumunu tespit edebilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışma kırık rotor çubuğu ve eksantrik arızası tespit etmede indüksiyon motorları için yararlı olduğunu göstermiştir. Kestirimci bakım yöntemleri, farklı arıza şiddetlerine karşılık tepki verebilmek için büyük miktarda veri tabanına ihtiyaç duyar. Kapsamlı bir motor akımı imza analizi yapmak için genellikle motorun yakından ilgili bilgisi gerekir. Ancak, mevcut imza analiz tekniği ile arıza yaklaşımında bulunan araştırmacıların çoğu, veri modülleri ile analiz edilecek motorlar hakkında kesin bilgiye sahip değildir. Bu çalışmada, motorun tasarımı sırasında oluşturulan arızalar ve bu arızaların değerlendirilmesi, motorun bütün değişken durumları incelenmesi açısından yüksek doğrulukta arıza teşhisi yaklaşımlarına olanak verir. Ayrıca makine tasarım aşamasındayken simülasyon ile farklı arıza şiddetleri oluşturma; hassas ve yoğun veri toplama, zaman ve iş gücünden kazanç açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, k-NN, MLP ve RT kullanılarak hataların sınıflandırma oldukça kayda değer olduğu bulunmuştur. Sağlıklı ve arızalı indüksiyon motorlarının birbirlerinden ayırmada %100 başarı oranına ulaşılmıştır.

Kaynakça

- A.Ghoggala, S.E.Zouzoua, H.Razikb, M.Sahraouia, & A.Khezzarc. (May 2009). An improved model of induction motors for diagnosis purposes – Slot skewing effect and air-gap eccentricity faults. *ELSEVIER*, 50(5), 1336-1347.
- Adem, T. (2 - 4 Şubat 2011). Veri Madenciliği Süreçleri Veçık Kaynak Kodlu Veri Madenciliği Araçları. *Akademik Bilişim*. Malatya.
- Ceban, A., Pusca, R., & Romary, R. (29 July 2011). Study of Rotor Faults in Induction Motors Using External Magnetic Field Analysis. *IEEE*, 59(5), 2082 - 2093.
- Danilo Granda, I. G., Aguilar, W. G., Arcos-Aviles, D., & Sotomayor, D. (11 April 2017). Broken Bar Diagnosis for Squirrel Cage Induction Motors Using Frequency Analysis Based on MCSA and Continuous Wavelet Transform. *MCA*, 22(2).
- Desheng, L., Beibei, Y., Yu, Z., & Jinping, S. (25-27 May 2012). Time-frequency analysis based on BLDC motor fault detection using Hermite S-method. *IEEE*. Zhangjiajie, China.
- Dorrell, D., Chindurza, I., & Cossar, C. (17 October 2005). Effects of rotor eccentricity on torque in switched reluctance Machines. *IEEE*, 41(10), 3961 - 3963.
- Dorrell, D., Thomson, W., & Roach, S. (Jan/Feb 1997). Analysis of airgap flux, current, and vibration signals as a function of the combination of static and dynamic airgap eccentricity in 3-phase induction motors. *IEEE*, 33(1), 24 - 34.
- Elif, A., Goşenay, İ., & Mehmet, H. (2014). *Asenkron Motorda Statik Eksenden Kaçıklık Arızasının İncelenmesi*. Tokat ,TÜRKİYE: Akademik platform.
- Esfahani, E. T., Wang, S., & Sundararajan, V. (17 May 2013). Multisensor Wireless System for Eccentricity and Bearing Fault Detection in Induction Motors. *IEEE*, 19(3), 818 - 826.
- Faiz, J., & Sharifian, B. M. (05 May 2006). Different Faults and Their Diagnosis Techniques in Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors—A Review. *Electromagnetic*, 26(7), 543-569.
- FeyzaGürbüz, F. (October 2018). Rule extraction for tram faults via data mining for safe transportation. *ELSEVIER*, 568-579.

- Granda, D., Aguilar, W. G., Arcos-Aviles, D., & Sotomayor, D. (2017). Broken Bar Diagnosis for Squirrel Cage Induction Motors Using Frequency Analysis Based on MCSA and Continuous Wavelet Transform. *MCA*, 22(2).
- Ishkova, I., & Vitek, O. (20 July 2015). Diagnosis of eccentricity and broken rotor bar related faults of induction motor by means of motor current signature analysis. *IEEE*. Kouty nad Desnou, Czech Republic.
- Jee-Hoon, J., Jong-Jae, L., & Bong-Hwan, K. (30 November 2006). Online Diagnosis of Induction Motors Using MCSA. *IEEE*, 53(6), 1842 - 1852.
- Joksimovic, G., Durovic, M., Penman, J., & Arthur, N. (June 2000). Dynamic simulation of dynamic eccentricity in induction machines-winding function approach. *IEEE*, 15(2), 143 - 148.
- Khalid, S., & Galina, M. (10-13 May 2015). Space-time representation of the main air gap flux of a three phase squirrel cage induction motor and its application to detect eccentricity. *IEEE*. Coeur d'Alene, ID, USA.
- Mustafa, M., Nikolakopoulos, G., & Gustafsson. (February 2015). Broken bars fault diagnosis based on uncertainty bounds violation for three-phase induction motors. *Electrical Energi Systems*, 25(2), 304-325.
- Puche-Panadero, R., Pineda-Sanchez, M., Riera-Guasp, M., Roger-Folch, J., Hurtado-Perez, E., & Perez-Cru, J. (13 January 2009). Improved Resolution of the MCSA Method Via Hilbert Transform, Enabling the Diagnosis of Rotor Asymmetries at Very Low Slip. *IEEE*, 24(1), 52 - 59.
- Subramaniam, A., Sahoo, A., Manohar, S. S., & Panda, S. K. (11-14 Aug. 2017). Fault diagnostic techniques for induction machines through finite element analysis. *IEEE*. Sydney, NSW, Australia.
- Wiem, Z., Yemna, B., & Hafedh, T. (16-19 March 2015). Co-simulation of induction motor fed by PWM inverter under a broken bar fault. *IEEE*. Mahdia, Tunisia.
- Yassa, N., Rachek, M., & Houassine, H. (April 2019). Motor Current Signature Analysis for The Air Gap Eccentricity Detection In The Squirrel Cage Induction Machines. *ELSEVIER*, 251-262.
- Yemna Bensalem, H. T. (2015). Analysis of Induction Motor with Stator Winding Short-circuit Fault by Finite Element Model. *IJSET*, 53(58), 2356-5608.



Double Quadrature Spatial Intensity Modulation for Visible Light Communications

Yasin Çelik^{1*}

¹ Department of Electrical-Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Aksaray University, Aksaray, Turkey (ORCID: 0000-0001-8972-9970)

(First received 25 Haziran 2019 and in final form 10 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.582283)

ATIF/REFERENCE: Çelik, Y. (2019). Double Quadrature Spatial Intensity Modulation for Visible Light Communications. *European Journal of Science and Technology*, (16), 905-914.

Abstract

In this paper, a new spectrally efficient space modulation technique, which is called double quadrature spatial intensity modulation (DQSIM), is proposed for multiple-input multiple-output (MIMO) visible light communication (VLC) systems. Sub-carrier intensity modulation (SCM), which ensures the use of in-phase/quadrature (I/Q) signals in intensity modulation direct detection (IM/DD) systems, is used as a digital modulation scheme. In RF, quadrature spatial modulation (QSM) transmits the I/Q signals through single or multiple antennas selected independently from each other. Furthermore, the orthogonality between I and Q components is provided for the half period of sinusoids. DQSIM utilizes these two features and transmits four fold more bits than spatial modulation (SM) via spatial constellation. SCM uses two-fold bandwidth compared to on-off keying (OOK), while DQSIM uses three fold. DQSIM outperforms benchmark modulation schemes, which are SCM-SM and pulse amplitude modulation spatial modulation (PAM-SM), at the bit error rate (BER) value of 10^{-4} . Furthermore DQSIM performance has increased with the increasing number of LEDs.

Keywords: Subcarrier intensity modulation, Spatial modulation, MIMO, VLC.

Görünür Işık Haberleşmesi için Çift Dördün Uzaysal Yoğunluk Modülasyonu

Öz

Bu çalışmada, çift dördün uzaysal modülasyon (ÇDUM) adı verilen izgesel verimi yüksek yeni bir uzaysal modülasyon tekniği çoklu-giriş çoklu-çıkış (ÇGÇÇ) görünür ışık haberleşmesi (GIH) sistemleri için önerilmiştir. Sayısal modülasyon planı olarak, eş evreli (I) ve dördün (Q) sinyallerin yoğunluk modülasyonlu direk sezim (YM/DS) sistemlerde kullanımına olanak sağlayan, alt-taşıyıcılı yoğunluk modülasyonu (AYM) kullanılmıştır. Radyo frekans (RF) haberleşmesinde dördün uzamsal modülasyon (DUM) I/Q sinyallerini her biri diğerinden bağımsız olarak seçilmiş antenlerden iletir. Dahası I/Q sinyalleri arasındaki diklik sinüzoidal sinyallerin yarım periyodunda da korunmaktadır. ÇDUM bu iki özelliği kullanarak uzamsal modülasyonun (UM) dört katı biti uzaysal boyutta iletir. AYM, aç-kapa anahtarlama (AKA) kıyasla iki kat bant genişliği kullanırken, ÇDUM üç kat kullanır. Bu çalışmada ÇDUM performansı AYM-UM ve darbe genlik modülasyonlu uzamsal modülasyon (DGM-UM) ile karşılaştırılmış ve daha iyi bir performans sergilediği gösterilmiştir. Ek olarak, verici taraftaki LED sayısı arttıkça ÇDUM performansı artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alt-taşıyıcılı yoğunluk modülasyonu. Uzamsal modülasyon, ÇGÇÇ, GIH.

* Corresponding Author: ¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Aksaray University, Aksaray, Turkey, ORCID: 0000-0001-8972-9970, yasincelik@aksaray.edu.tr

1. Introduction

Visible light communication (VLC) is an up-and-coming technology for short and medium-range wireless communications. It comes out as a complementary solution for present communication systems and helps for getting over the spectrum shortage problem in short and medium-range wireless communications. It also has several advantages that can not be achieved by radio frequency (RF) systems, for example, communication in electromagnetic sensitive areas, immunity to eavesdropping, be used both for illumination and communication, etc. [1, 2].

In RF communication systems, in-phase/quadrature (I/Q) data and modulation schemes are prevalent because of their efficiency in spectrum and power. However, complex and negative components of the I/Q data are not convenient for transmitting over intensity modulation direct detection (IM/DD) systems, and also over VLC systems. Thus, conventional VLC communication systems were based on baseband pulsed modulations [3]. Later on, orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) was adapted for VLC systems by transforming the complex-bipolar signal to real-unipolar signal through some operations, such as, Hermitian symmetry, DC-bias etc.. However, such operations are performed at the cost of decreasing spectral efficiency (SE) and/or energy efficiency. Furthermore, peak to average power ratio (PAPR) is a main drawback for OFDM and its variants [4].

As an alternative to baseband modulations and optical OFDM variants, subcarrier intensity modulation (SCM) has also been proposed for IM/DD systems [5, 6]. SCM supplies efficient modulation schemes, such as, quadrature amplitude modulation (QAM), phase shift keying (PSK), etc., without PAPR problem and it also ensures the use of I/Q data in VLC systems. SCM is composed of sine and cosine signal pair and a DC bias signal which assures that the sum of sinusoidal signals is positive during all transmission period. As a drawback, due to its band-pass form, SCM needs twice the bandwidth of on-off keying (OOK) modulation [7].

In order to increase SE, multiple-input multiple-output (MIMO) technique is a well-known concept in RF. It is carried out by simultaneously transmitting independent data streams from multiple transmitters to multiple receivers. In general, multiple LEDs are located in a distributed manner with the intention of illumination purposes in indoor environments. Therefore, LED locations in a room naturally supports the MIMO structure for VLC systems [8]. Thus, MIMO communication techniques are easily adapted for VLC systems in order to overcome the SE loss which caused by generation of the real-unipolar signal.

Spatial multiplexing (SMX), repetition coding (RC), and space modulation techniques (SMT), especially spatial modulation (SM), are the well-researched MIMO techniques for VLC systems [9, 10]. SMTs are relatively new and efficient MIMO transmission schemes that exploit the differences between channel gains to modulate additional information bits [11]. Spatial modulation (SM) which is the first popular concept for SMT was proposed by Mesleh et al. in 2008. In SM, one of the transmit antenna is activated at each symbol period and all others are turned off. This scheme is implemented with a single RF-chain which assures reduced implementation cost, decreased computational complexity, eliminated inter-channel interference (ICI), and increased energy efficiency. As a result of activating single transmit antenna at each symbol period, $\log_2(N_t)$ bits are transmitted by spatial constellation [11].

Thanks to the orthogonality between I and Q components of the sinusoidal signal pairs, quadrature spatial modulation (QSM) was proposed in RF. Like SM, QSM is also implemented with a single RF chain, but two antennas may be active in one symbol period due to the I and Q spatial symbols which are independent of each other. Therefore, spatial constellation size and also the number of spatially transmitted bits is doubled in QSM. Thus, total SE of the QSM is given by $(\log_2(M) + 2 \log_2(N_t))$ bit per channel use (bpcu) where M is the signal constellation size [12, 13].

The orthogonality between I and Q components is also provided in the half period of sinusoids. With the aid of this property, double quadrature spatial intensity modulation (DQSIM) is proposed for MIMO VLC systems in this paper. DQSIM is the spectrally efficient version of the QSIM that allows switching between LEDs at a rate of twice the symbol rate. Therefore, sinusoidal signal pairs are transmitted separately by the LEDs chosen according to the spatial symbols at a rate of twice the symbol rate. So the number of spatially modulated bits is doubled and the SE of DQSIM is given by $(\log_2(M) + 4 \log_2(N_t))$ bpcu. DQSIM can also be designed with a single RF-chain and utilizes the advantages of this feature.

2. Material and Method

2.1. System Model

In this paper, an indoor VLC system with multiple LEDs and PDs is considered. The number of LEDs and PDs are denoted by N_t and N_r , respectively. It is assumed that the LEDs are perfectly synchronized and temporal delay is negligible between multiple links, so the considered system model has no time dispersion. The block diagram of the proposed DQSIM transmitter and receiver is shown in Fig. 1.

2.1.1. DQSIM Transmitter Model

At the transmitter side, the incoming bits are separated into five groups. The first group contains $\log_2(M)$ bits, which is used to choose the digitally modulated symbol. The other four groups separately contain $\log_2(N_t)$ bits and each one is used to choose a spatial symbol independently. Among these four groups, the first two, T_{IF} and T_{QF} , determine the indexes of the active LED or LEDs at the first phase of symbol period and the last two, T_{IS} and T_{QS} , determine the indexes of the active LED or LEDs at the second phase of symbol period.

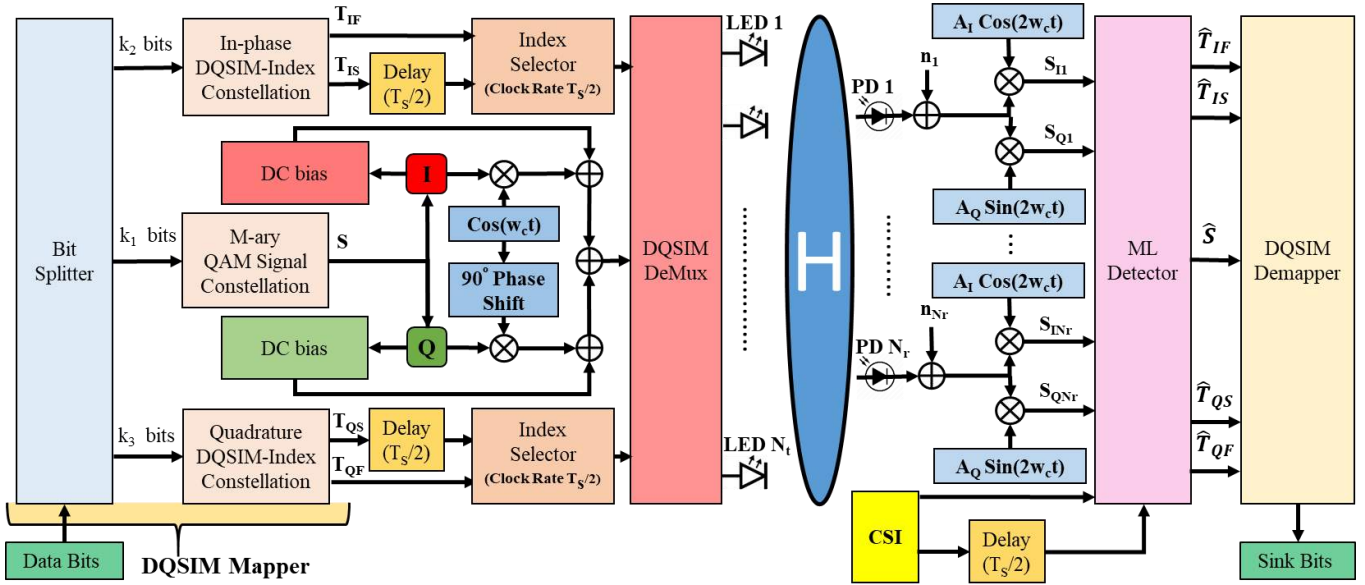


Figure 1. Block diagram of the proposed DQSIM transmitter and receiver.

The transmitted signal is obtained from SCM, which is the sum of sinusoidal signal pairs and a DC signal. The DC signal must ensure that the total electrical signal is always positive [5]. Since the constant DC signal reduces the power efficiency of the SCM, the power-efficient form of the SCM using symbol-by-symbol DC bias is proposed [15]. This form of SCM is considered in this study and quadrature amplitude modulation (QAM) is used as the modulation scheme. At the transmitter side, orthonormal base functions in half period are given as;

$$\phi_{1F}(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_c t) \text{rect}\left(\frac{2t}{T_s} - \frac{T_s}{4}\right), \quad (1)$$

$$\phi_{1S}(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_c t) \text{rect}\left(\frac{2t}{T_s} - \frac{T_s}{2}\right), \quad (2)$$

$$\phi_{2F}(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_c t) \text{rect}\left(\frac{2t}{T_s} - \frac{T_s}{4}\right), \quad (3)$$

$$\phi_{2S}(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_c t) \text{rect}\left(\frac{2t}{T_s} - \frac{T_s}{2}\right), \quad (4)$$

where T_s is the symbol interval and $f_c = 1/T_s$ is the subcarrier frequency. Rectangular window function, $\text{rect}(t)$, is defined as;

$$\text{rect}(t) = \begin{cases} 1, & -1/2 \leq t \leq 1/2, \\ 0, & \text{o/w.} \end{cases} \quad (5)$$

Consequently, before adding DC the transmitted signals in the first and second phase are expressed as follows;

$$x_F(t) = \{S_{lR}\}_F \phi_{1F}(t) + \{S_{lS}\}_F \phi_{2F}(t), \quad (6)$$

$$x_S(t) = \{S_{lR}\}_S \phi_{1S}(t) + \{S_{lS}\}_S \phi_{2S}(t), \quad (7)$$

here, $l = \{1, 2, \dots, M\}$ and M is the constellation size of the digitally modulated symbols. S_{lR} and S_{lS} are obtained from the symbol set S and $S = \{S_1, S_2, \dots, S_M\}$. S is the constellation of QAM with the size of M , so $S_l = S_{lR} + jS_{lS}$. The transmitted vector at the first and the second phases consist of half period of sinusoidal signal pairs. Furthermore, one complex symbol is sent in one symbol period, so the first phase symbol is equal to the second phase symbol, $S_{lF} = S_{lS}$. According to the T_{lF} , T_{lQ} , T_{lS} , and T_{lQ} indices, the active LEDs are determined for the first and second phases. After that, $x_F(t)$ and $x_S(t)$ signals are transmitted from the active LEDs, respectively. At the output of the DQSIM demultiplexer, the transmitted signal vector is given as $\mathbf{x} = [\mathbf{x}_F \ \mathbf{x}_S]$, where $\mathbf{x}_F = [0, S_{lS}, S_{lR}, \dots, 0]^T$ and $\mathbf{x}_S = [S_{lS},$

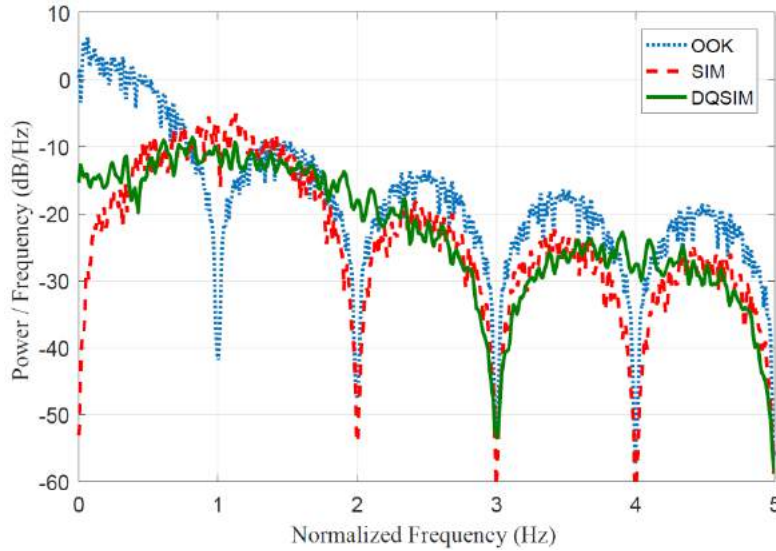


Figure 2. Bandwidth comparison between OOK, SIM and DQSIM.

$S_{IR}, 0, \dots, 0]^T$ are $N_r \times 1$ vectors with the non-zero elements at the T_{IF}, T_{QF}, T_{IS} , and T_{QS} index positions. The transmitted signal, $x(t)$, is obtained as the sum of inphase, quadrature and DC components and used to drive the LEDs.

To make a fair comparison between modulation schemes, the system bandwidth and the transmission powers used must be the same. In addition, it is common to use the first null bandwidth to measure the bandwidth of the transmission systems. In Fig. 2, the frequency domain representation of the OOK, SCM and DQSIM schemes are given. As shown in Fig. 2, the first null bandwidth usage of the OOK scheme, which is 2-PAM, is minimum. SCM scheme requires twice as much bandwidth as the OOK, and DQSIM requires three-fold the bandwidth of OOK. The bandwidth usage is taken into account in simulations to achieve the same spectral efficiency.

Some bit mapping examples of the proposed scheme for $N_t = 4$ and $M = 4$ is shown in Table I. This table illustrates the transmitted signal (\mathbf{x}) for corresponding data bits. $\{S_l\}_F$ stands for the first half period of the S_l and $\{S_l\}_S$ corresponds to the second half period of the S_l . In addition, S_l consists of the sum of real and imaginary parts as $(S_{lR} + S_{lI})$. The sum of k_1, k_2 , and k_3 , which is equal to the $\log_2(MN_t^4)$ bits, are sent during each symbol period. The average electrical energy consumed at the active LED or LEDs in every channel use is equal to E_s .

Table 1. Examples of the DQSIM with SE of 10 bpcu for $N_t = 4$ and $M = 4$.

Incoming Bits			Transmitted Data							
k_1	k_2	k_3	First Phase (\mathbf{x}_F)				Second Phase (\mathbf{x}_S)			
			LED1	LED2	LED3	LED4	LED1	LED2	LED3	LED4
00	0101	0110	0	$\{S_1\}_F$	0	0	0	$\{S_{1R}\}_S$	$\{S_{1I}\}_S$	0
01	1010	1001	0	0	$\{S_2\}_F$	0	0	$\{S_{2I}\}_S$	$\{S_{2R}\}_S$	0
10	1111	0011	$\{S_{3I}\}_F$	0	0	$\{S_{3R}\}_F$	0	0	0	$\{S_3\}_S$
11	0000	1100	$\{S_{4R}\}_F$	0	0	$\{S_{4I}\}_F$	$\{S_4\}_S$	0	0	0
10	0001	1000	$\{S_{3R}\}_F$	0	$\{S_{3I}\}_F$	0	$\{S_{3I}\}_S$	$\{S_{3R}\}_S$	0	0
00	0011	1111	$\{S_{1R}\}_F$	0	0	$\{S_{1I}\}_F$	0	0	0	$\{S_1\}_S$
01	0111	1110	0	$\{S_{2R}\}_F$	0	$\{S_{2I}\}_F$	0	0	$\{S_{2I}\}_S$	$\{S_{2R}\}_S$
11	1101	0010	$\{S_{4I}\}_F$	0	0	$\{S_{4R}\}_F$	0	$\{S_{4R}\}_S$	$\{S_{4I}\}_S$	0
11	1111	1111	0	0	0	$\{S_4\}_F$	0	0	0	$\{S_4\}_S$
00	0000	0000	$\{S_1\}_F$	0	0	0	$\{S_1\}_S$	0	0	0
01	1100	1100				$\{S_2\}_F$	$\{S_2\}_S$			
10	0110	0011	$\{S_{3I}\}_F$	$\{S_{3R}\}_F$					$\{S_{3R}\}_S$	$\{S_{3I}\}_S$

2.1.2 MIMO VLC Channel Model

In this study, direct line-of-sight (LOS) channel characteristic is assumed between LEDs and PDs for indoor VLC. \mathbf{H} is the $N_r \times N_t$ MIMO channel matrix and the channel coefficient of the optical link between the transmitter j and the receiver i is represented by h_{ij} which is the element in the i^{th} row and j^{th} column of the matrix \mathbf{H} . The placement of LEDs and PDs in x-y plane is given in Fig. 3a and the link geometry is shown in Fig. 3b, where α_{ij} and β_{ij} are defined as the angles between the normal and the LOS link for LED and PD,

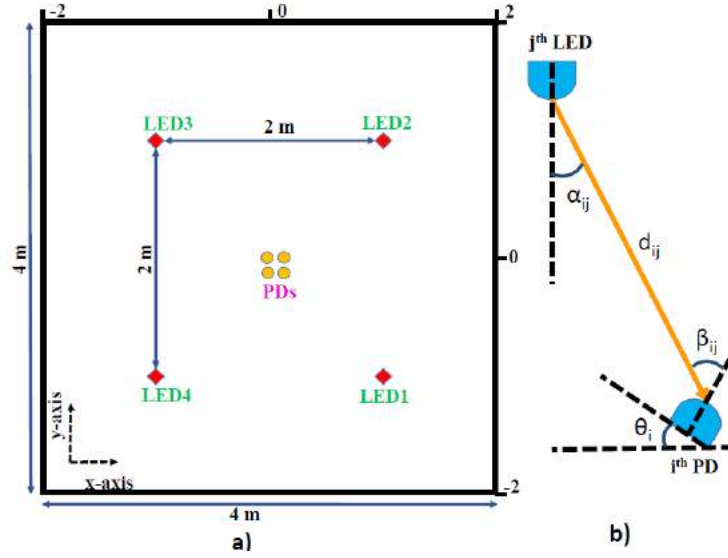


Figure 3. a) Positions of LEDs and PDs in $x - y$ plane, b) Link geometry.

respectively. Angular diversity receiver (ADR) is a compact receiver type considered in this work. Pyramid ADR is designed according to the principles given in [14]. For this receiver type, the elevation angle of the i^{th} PD is considered as θ_i which is shown in Fig. 3b. In particular, the azimuth angle, ϕ , is considered as 0° , and the elevation angle, θ , is taken into account as 60° for getting the best channel conditions.

Assuming the LEDs have Lambertian radiation pattern, the MIMO channel coefficient h_{ij} will be given as following [14],

$$h_{ij} = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d_{ij}^2} \cos^m(\alpha_{ij}) \cos(\beta_{ij}), & \left| \frac{\beta_{ij}}{FOV} \right| \leq 1, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (8)$$

In (8), since the LED semi-angle (at half power) is considered as 60° , Lambertian emission order, m , is equal to 1. d_{ij} is the distance in meters from j^{th} LED to i^{th} PD. α_{ij} is the angle between the link from j^{th} LED to i^{th} PD and the normal of j^{th} LED. Similarly, β_{ij} is the angle between the link from j^{th} LED to i^{th} PD and the normal of i^{th} PD. FOV is the field of view angle of the PD, and A is the active area of PD which is 15 mm^2 for Centronic OSD15-E PDs [14].

The room sizes for our indoor scenario are considered as 4 m, 4 m, and 3 m in x , y , and z directions, respectively. The top view of the indoor place in $x - y$ plane is showed in Fig. 3a. The LEDs are placed at a height of 2.7 m in the z -direction and to the diagonals of the $x - y$ plane of the room with the same distances between each other.

At the receiver side, multiple PDs are designed in a compact manner and formed the ADR unit. This unit is located at the center of the room with a height of 0.8 m in the z -direction, which corresponds to (0,0,0.8) location in (x, y, z) coordinates. Because of the receiver units are designed in a compact manner, the distances between the PDs are negligible, so the positions of the PDs are assumed to be same as the position of the ADR unit.

2.1.3 DQSIM Receiver Model

Light intensity, which consists modulated signal with DC-bias is detected by the PDs in the ADR unit. After electrical-to-optical conversion, the received signal vector in one symbol period is described as follows,

$$\mathbf{y} = \eta \rho \mathbf{H} \mathbf{x} + \mathbf{n}, \quad (9)$$

where η is the electrical-to-optical conversion coefficient and ρ is the photo-detector sensitivity. Without loss of generality we assume $\eta \rho = 1$. The shot and the thermal noises occurred at the receiver are modeled as additive white Gaussian noise (AWGN) which is independent of the transmitted signal and added to the received signal in the electrical domain. \mathbf{n} is N_r dimensional Gaussian random variable with zero mean and has a variance of σ_n^2 . The modulated data, consists of indice symbols as well as digitally modulated symbols, is obtained with the help of orthogonality between sinusoidal signal pairs. Since the received signal has a DC-bias at half symbol rate, matched filter can not reach maximum SNR, which is defined as $E[\mathbf{x}^T \mathbf{x}] / \sigma_n^2$. Here, $E[\cdot]$ is the expectation operator. In order to retrieve indice information at half symbol rate, a high pass filter approach is proposed for DQSIM scheme. The received signal at the i^{th} PD can be divided into two parts as $\mathbf{y}_{F(i)}$ and $\mathbf{y}_{S(i)}$ which correspond to the first half of symbol period (first phase) and the second half of symbol period (second phase), respectively. are defined as following,

$$\mathbf{y}_{F(i)}(t) = DC_F(t) + h_{IF(i)} \{S_{IR}\}_F \phi_{1F}(t) + h_{QF(i)} \{S_{IS}\}_F \phi_{2F}(t) + \mathbf{n}_{F(i)}, \quad (10)$$

$$y_{S(i)}(t) = DC_S(t) + h_{IS(i)} \{S_{I\Re}\}_S \phi_{1S}(t) + h_{QS(i)} \{S_{I\Im}\}_S \phi_{2S}(t) + n_{S(i)}. \quad (11)$$

Here, $i = 1, 2, \dots, N_r$ corresponds to the receiver indice. $h_{IF(i)}$ and $h_{IS(i)}$ indicate the channel coefficients between active LED and i^{th} PD for inphase carrier at first and second phases, respectively. Also, $h_{QF(i)}$ and $h_{QS(i)}$ are the channel coefficients for quadrature carrier in the same manner. $DC_F(t)$ and $DC_S(t)$ are the direct current in the transmitted signal for the first and second phases, respectively. $n_{F(i)}$ and $n_{S(i)}$ are the zero mean Gaussian random variables at the i^{th} PD with a variance of $\sigma^2 = N_0/2$ per dimension.

The inphase and quadrature components of the received signal can be retrieved by filtering received signal with high frequency sinusoids. In order to obtain the information carried with inphase carrier, a high frequency quadrature signal can be used for filtering quadrature and DC components. And also, getting the information carried with quadrature carrier, a high frequency inphase signal can be used for filtering inphase and DC components. Twice the carrier frequency is enough for high frequency component to provide orthogonality between sinusoidal pairs. Thus, the estimated inphase and quadrature signals for the first and second phases at the i^{th} PD are obtained as following;

$$\hat{y}_{IF(i)} = \int_0^{\frac{T_s}{2}} y_{F(i)}(t) \sin(4\pi f_c t) dt, \quad (12)$$

$$\hat{y}_{QF(i)} = \int_0^{\frac{T_s}{2}} y_{F(i)}(t) \cos(4\pi f_c t) dt. \quad (13)$$

$$\hat{y}_{IS(i)} = \int_{\frac{T_s}{2}}^{T_s} y_{S(i)}(t) \sin(4\pi f_c t) dt, \quad (14)$$

$$\hat{y}_{QS(i)} = \int_{\frac{T_s}{2}}^{T_s} y_{S(i)}(t) \cos(4\pi f_c t) dt. \quad (15)$$

After some simple derivations and normalization with $\sqrt{2/T_s}$ general forms for estimated inphase and quadrature signal at the i^{th} PD is given as;

$$\hat{y}_{IF(i)} = \frac{4}{3} h_{IF(i)} \{S_{I\Re}\}_F + \hat{n}_{IF(i)}, \quad (16)$$

$$\hat{y}_{QF(i)} = \frac{-2}{3} h_{QF(i)} \{S_{I\Im}\}_F + \hat{n}_{QF(i)}, \quad (17)$$

$$\hat{y}_{IS(i)} = \frac{4}{3} h_{IS(i)} \{S_{I\Re}\}_S + \hat{n}_{IS(i)}, \quad (18)$$

$$\hat{y}_{QS(i)} = \frac{-2}{3} h_{QS(i)} \{S_{I\Im}\}_S + \hat{n}_{QS(i)}, \quad (19)$$

where, $\hat{n}_{IF(i)}$, $\hat{n}_{QF(i)}$, $\hat{n}_{IS(i)}$, and $\hat{n}_{QS(i)}$ are the zero mean Gaussian random variables at the i^{th} PD with a variance of $\sigma^2 = N_0/4$ per dimension. The coefficients in the high pass filtering process of Fig. 1, A_I and A_Q , are obtained from above equations as $3/4$ and $3/2$, respectively. Finally, the $N_{R \times 1}$ received signal is given as;

$$\hat{\mathbf{y}} = [\hat{y}_{IF1} + j\hat{y}_{QF1}, \hat{y}_{IS1} + j\hat{y}_{QS1}, \dots, \hat{y}_{IFN_R} + j\hat{y}_{QFN_R}, \hat{y}_{ISN_R} + j\hat{y}_{QSN_R}]^T. \quad (20)$$

The received signal is then processed by a maximum likelihood (ML) decoder to jointly estimate the spatial symbols and the digitally modulated symbol as,

$$(\hat{\mathbf{S}}, \hat{\mathbf{T}}_{IF}, \hat{\mathbf{T}}_{QF}, \hat{\mathbf{T}}_{IS}, \hat{\mathbf{T}}_{QS}) = \underset{S, T_{IF}, T_{QF}, T_{IS}, T_{QS}}{\operatorname{argmin}} (||\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{H}\mathbf{x} ||_F^2), \quad (21)$$

where F denotes the Frobenious norm. The computational complexity of considered schemes are presented in Table 2.

Table 2. Computational complexity of considered schemes

Scheme	Complexity	Complexity in terms of SE
PAM-SM	$MN_t 2N_r$	$2^{SE} 2N_r$
SCM-SM	$2MN_t 3N_r$	$2^{2SE} 6N_r$
DQSIM	$2MN_t 43N_r$	$2^{3SE} 6N_r$

3. Results and Discussion

3.1. Simulation Results

In this section, the BER performance of the considered modulation schemes for indoor VLC systems with compact ADR unit is showed. SM scheme is used as a MIMO plan with the fixed mean emitted electrical power in one symbol period. Furthermore, comparisons are made at the same spectral efficiencies for all scenarios, except DQSIM at spectral efficiency value of 3 bits/s/Hz. The spectral efficiency of DQSIM is assumed to be 3.33 bits/s/Hz with $N_r=4$ and $M=4$ in this scenario. In our simulations, the SNR value is indicated by the electrical E_b/N_0 in dB.

Since comparisons are made at the same spectral efficiency of 3 bits/s/Hz, the modulation sizes of PAM and SCM for SM scheme are considered as 2 and 16, respectively. When the number of LEDs is 4 at the transmitter side, it is not possible to obtain 3 bits/s/Hz spectral efficiency with an integer M value. Thus, the modulation size of DQSIM is assumed to be 4 to achieve the spectral efficiency of 3.33 bits/s/Hz. As for spectral efficiency of 5 bits/s/Hz, modulation sizes of 4, 128, and 8 are needed for PAM, SCM, and DQSIM, respectively. In this indoor scenario, the number of LEDs is 8 at the transmitter side. All of the parameters used in indoor VLC simulation are summarized in Table 3.

Table 3. Simulation parameters for indoor MIMO VLC with ADR unit.

Length (X)	4 m
Width (Y)	4 m
Height (Z)	3 m
No. of LEDs (N_t)	4, 8
LED distance from the roof	0.3 m
Distance between LEDs	2 m
Transmitter elevation angle	- 90°
Transmitter azimuth angle	0°
Half power semi-angle ($\Phi_{1/2}$)	60°
Mode number (n)	1
PD height from the floor	0.8 m
Receiver elevation angle	60°
Receiver azimuth angle	0°
Responsivity	$1 \text{ A}/\sqrt{\text{W}}$
Area of the detector (A)	$1.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
FOV	85°
No. of PDs (N_r)	4

Figure 4 shows the BER performances of PAM, SCM, and DQSIM schemes for SM-MIMO plan at the spectral efficiency of 3 bits/s/Hz. The receiver is located at the center of the room. The proposed scheme and PAM-SM outperform the SCM-SM nearly 4 dB at the BER value of 10^{-4} and has the same performance at this BER value. However, DQSIM has the advantage of 0.33 bits/s/Hz spectral

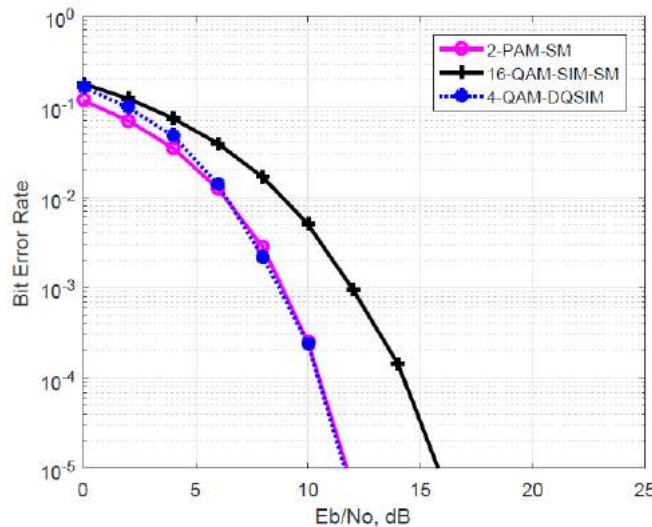


Figure 4. BER simulation results for 4 x 4 MIMO DQSIM scheme SE value of 3.33 bits/s/Hz for DQSIM and 3 bits/s/Hz for others

efficiency over PAM-SM for this configuration. The BER of 10^{-4} is sufficient to ensure reliable communication with error correcting codes [16].

In Figure 5, the BER performances of PAM, SCM, and DQSIM were evaluated using 8 LEDs at the transmitter side. In this indoor scenario, the spectral efficiency of 5 bits/s/Hz is achieved and the receiver is also located at the center of the room. DQSIM performs better than the benchmark modulations with the SM scheme. It outperforms SCM-SM nearly 7 dB and PAM-SM 0.5 dB at the BER value of 10^{-4} . As a result, DQSIM performance has increased with increasing number of transmitters. The DQSIM scheme stands out in this scenario and overcomes the disadvantage of bandwidth. SCM-SM has the worst BER performance in both two scenarios. The BER performance of PAM-SM is close to DQSIM. However, PAM's power efficiency decreases with an increase in M.

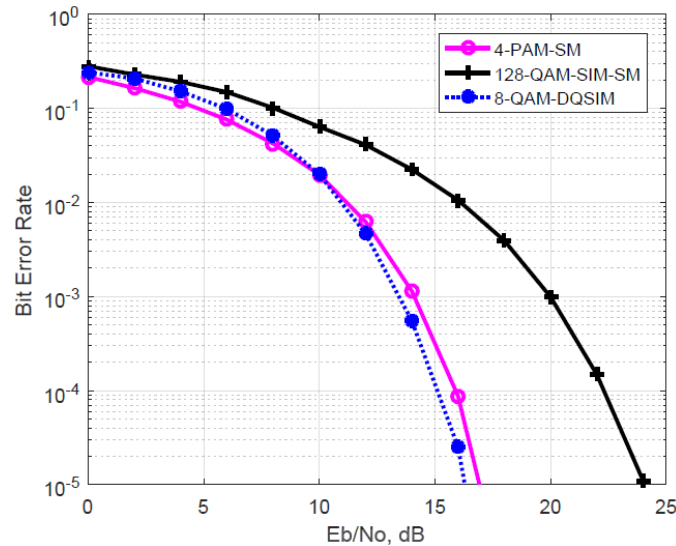


Figure 5. BER simulation results for 8 x 4 MIMO DQSIM scheme with $N_t = 8$ and and SE value of 5 bits/s/Hz

4. Conclusions and Recommendations

DQSIM technique has been proposed as a spectrally efficient modulation scheme for indoor MIMO VLC systems. It has been shown via Monte Carlo simulations that, its SNR advantage increases more than SM schemes with the increasing number of LEDs. This suggests that DQSIM constellation with large number of LEDs would be suitable for indoor VLC scenarios. In addition, to overcome the drawback that the number of transmit antennas has to be an integer exponent of 2, the generalized schemes will be used [17]. In generalized schemes, a constant number of transmit antennas is activated in each symbol period and the same signal is transmitted from all of the enabled antennas. Thus, combination of active antennas available at transmitter increases the number of index bits modulated to the spatial domain.

References

- [1] Khan, L.U. 2017. Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges, Digital Communications and Networks, 3, 2, pp. 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2016.07.004>
- [2] Jovicic, A. Li, J. and Richardson, T. 2013. Visible light communication: Opportunities, challenges and the path to market IEEE Commun. Mag. 51, 12, pp. 26-32. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6685754>
- [3] Dimitrov, S. and Haas, H. 2015. Principles of LED Light Communications, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [4] Armstrong, J. 2009. OFDM for Optical Communications, IEEE Journal of Lightwave Tech., 27, 3, pp. 189-204. <https://doi.org/10.1109/JLT.2008.2010061>
- [5] Barry, J. R. 1994. Wireless Infrared Communications, Norwell, MA Kluwer.
- [6] Islim, M. S. and Haas, H. 2016. Modulation Techniques for Li-Fi, ZTE Communications, 14, 2, pp. 29-40. <https://www.research.ed.ac.uk/portal/en/publications/modulation-techniques-for-lifi>
- [7] Celik, Y. and Akan, A. 2018. Subcarrier intensity modulation for MIMO visible light communications, Optics Communications, 412, pp. 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2017.12.002>
- [8] Zeng, L. and et al. 2009. High Data Rate Multiple Input Multiple Output (MIMO) Optical Wireless Communications Using White LED Lighting, IEEE Journal on Selected Areas in Comm., 27, 9, pp. 1654-1662. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2009.091215>
- [9] Mesleh, R. and et al. 2011. Optical Spatial Modulation, IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 3, 3, pp. 234-244. <https://doi.org/10.1364/JOCN.3.000234>
- [10] Fath, T. and Haas, H. 2013. Performance comparison of MIMO techniques for optical wireless communications in indoor environments, IEEE Transactions on Communications, 61, 2, pp. 733-742. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2012.120512.110578>
- [11] Mesleh, R. and et. al. 2008. Spatial modulation, IEEE Trans. Veh. Technol., 57, 4, pp. 2228-2241. <https://doi.org/10.1109/TVT.2007.912136>
- [12] Mesleh, R., Ikki, S., and Aggoune H. 2015. Quadrature spatial modulation, IEEE Trans. Veh. Technol., 64, 6, pp. 2738-2742. <https://doi.org/10.1109/TVT.2014.2344036>

- [13] Mesleh, R. and Alhassi, A. 2018. Space Modulation Techniques, Wiley, 1th Ed., Hoboken, USA.
- [14] Nuwanpriya, A. and et al. 2015. Indoor MIMO visible light communications: Novel angle diversity receivers for mobile users, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 33, 9, pp. 1780-1792.
- [15] You, R. and Kahn, J. M. 2001. Average power reduction techniques for multiple-subcarrier intensity-modulated optical signals, IEEE Transactions on Communications, 49, 12, pp. 2164-2171. <https://doi.org/10.1109/26.974263>
- [16] Y. Qiu and et al., 2018. Visible Light Communications Based on CDMA Technology, IEEE Wireless Communications, 25, 2, pp.178-185.
- [17] A. Younis and et al., 2010. Generalized spatial modulation, Conf. Rec. Asilomar Signals, Syst., Comput., pp. 1498-1502, Pacific Grove, CA, USA.



Yeni Nesil Elektrik Dağıtım Şebekeleri İçin Çok Fonksiyonlu Dijital Aşırı Akım Rölesi Tasarımı ve Geliştirilmesi

Ender Oğuz^{1*}, Yavuz Ateş², M. Metin Hekimoğlu¹

¹ DATAKOM Elektronik Mühendislik San. Tic. A.Ş., İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

(İlk Geliş Tarihi 29 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 25 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.597297)

ATIF/REFERENCE: Oğuz, E., Ateş, Y. & Hekimoğlu, M. M. (2019). Yeni Nesil Elektrik Dağıtım Şebekeleri İçin Çok Fonksiyonlu Dijital Aşırı Akım Rölesi Tasarımı ve Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 915-924.

Öz

Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketiminden oluşan süreçte; ekipmanların ve canlıların arızalara karşı korunması ve enerji kalitesinin sağlanması için koruma sistemlerinin doğru ve seçici bir şekilde çalışarak görevlerini süreklilikle yerine getirmeleri gerekmektedir. Ancak bu süreçte koruma sistemleri bazı hatalarla/arızalarla karşı karşıya kalmaktadır. Koruma sistemlerinin etkili oldukları bölgelerde işletme koşullarının değişmesi, koruma sistemlerinin farklı arızalara maruz kalmasına neden olmaktadır.

Seçicilik, süratli çalışma, güvenilirlik, yedek koruma, kararlılık, ekonomiklik gibi özellikleri taşıması beklenen koruma sistemleri uygun şekilde kurulmuş ve sürekli çalışır durumda olmalıdır. İşletmelerdeki besleme yönünün değişmesi, mevsimsel tüketim değişiklikleri gibi farklı senaryolara farklı şekilde uyum sağlayabilecek adaptif koruma sistemleri yeni nesil şebekelerin sürekliliği için elzemdir. Adaptif korumanın sağlanabilmesi için koruma sisteminin en önemli elemanları olan rölelerin yüksek teknolojiye sahip, birçok koruma özelliğini bir arada bulduran akıllı donanımlar olmaları gerekmektedir.

Piyasadaki talep ve teknoloji gelişmeler doğrultusunda birçok fonksiyonu bir arada bulduran yeni bir dijital koruma rölesi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefle bu rölenin, kontrol, ölçü ve koruma fonksiyonlarını içermesi; röle üzerindeki tuş takımı ve haberleşme portları üzerinden fonksiyonların aktif hale getirilebilmesi beklenmektedir. Ayrıca beklenen bir diğer özellik RS485 portu ile IEC 60870-5-103 protokolünü kullanarak iletişim yapılabilmesi ve ethernet portu ile bir otomasyon sistemi içerisinde IEC 61850 standardına uygun haberleşme özelliklerini sağlamasıdır.

Hedeflenen cihazın hem analizör hem de koruma ekipmanı olarak çalışması sağlanmıştır. Cihaz “Düşük gerilim koruma (27)”, Arıza yeri tespit edici (FL)”, “Aşırı gerilim koruma (59N)”, Termik koruma (49)”, Açma devresi denetimi (74TCS)” koruma özelliklerini tek bir donanımda sunmaktadır.

Ürün geliştirilirken mikroişlemci kullanımı ve programlanması, manyetik değişkenlerin ölçümü ve kontrolü, algoritma geliştirme, haberleşme protokollerine uyum sağlama, laboratuvar ve saha testleri yapma yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Bu çalışmada birçok koruma fonksiyonunun tek bir donanımda sunulduğu bir dijital koruma rölesinin tasarımı, gerçekleştirilmesi ve test edilmesi ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital Aşırı Akım Rölesi, Adaptif Koruma, Aşırı Akım Koruma, Koruma Rölesi

Design and Development of Multifunctional Digital Overcurrent Relays for New Generation Electricity Distribution Networks

Abstract

In the process consisting of generation, transmission, distribution and consumption of electrical energy; protection systems must perform their duties continuously and correctly in order to protect equipment and living creatures against failures and to ensure energy quality. However, in this process, protection systems encounter some faults. Changes in operating conditions in the regions where the protection systems are effective, causes the protection systems to be exposed to different faults.

* Sorumlu Yazar: DATAKOM Elektronik Mühendislik San. Tic. A.Ş., İstanbul, Türkiye, ender.oguz@datakom.com.tr

The characteristics are expected from the protection systems, such as selectivity, rapid operation, reliability, backup protection, stability and economy should be properly installed and work in continuous operation. Adaptive protection systems can adapt to different scenarios such as change of feed direction in the operations and seasonal consumption changes. Because of this specialty adaptive protection systems are essential for the continuity of the new generation networks. In order to provide adaptive protection, the relays, which are the most important elements of the protection system, must be high-tech, intelligent equipment that combines many protection features.

In line with the demands in the market and technological developments, it is aimed to develop a new digital protection relay which incorporates many functions together. With this objective, it is expected from this relay containing control, measurement and protection functions. Also, it is expected the functions can be activated via the keypad and communication ports on the relay. In addition to this, it is expected that it can communicate with the RS485 port using the IEC 60870-5-103 protocol, and that it provides the communication features in accordance with the IEC 61850 standard in an automation system with its ethernet port.

The targeted device is can operate both as an analyzer and protection equipment. The protection features “Undervoltage Protection (27),” Fault Locater (FL), “Overvoltage Protection (59N),” Thermal Protection (49), Trip Circuit Supervision (74TCS) are offered in a single hardware.

During product development, microprocessor usage and programming, measurement and control of magnetic variables, algorithm development, adaptation to communication protocols, laboratory and field tests were used.

In this study, the design, implementation and testing of a digital protection relay in which several protection functions are presented in a single hardware are given.

Keywords: Digital Overcurrent Relay, Adaptive Protection, Overcurrent Protection, Protection Relay

1. Giriş

Son yıllarda artan enerji talebiyle enerji hatlarının iletimde ve dağıtımda; kontrol ve koruma gereksinimlerini daha verimli ve daha etkin bir şekilde yapmak gereği ortaya çıkmıştır. Elektrik enerjisini kaynaktan kullanıcılara iletim ve dağıtım hatları ile aktarırken daha verimli ve kullanışlı, daha güvenli sistemler kurabilmek ve bu sistemlerin sürdürülebilir bir şekilde işletilmesini sağlamak için akıllı ve uzaktan kontrol sağlayabilen yapılar araştırılmaktadır.

Son kullanıcıların ve ekipmanların zarar görmemesi için güç sistemlerinde oluşan arızalara hızlı bir şekilde çözüm getirilmelidir. İlk yıllarda arızalara çözüm sunmak için teknik ekipler tarafından el ile müdahale edilip kesicilerin kontrolü sağlanmaktaydı. Zamanla sistemler ve arızalar büyüdükçe güvenlik ve hızlı olmak gereklilikleri açısından arızalara çözüm getirme işlemlerini otomatikleştirmek zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Arızalara otomatik çözümler sunmada en temel olarak kullanılan elemanlar röleler, kesiciler ve sigortalardır.

IEEE röleler için şu tanımı kullanır: “Girdi koşullarına kurallarla belirlenmiş bir şekilde cevap verebilecek halde tasarlanmış ve bu koşullar sağlandıktan sonra kontaklarının değişmesi veya kontrol devreleri yardımıyla ani bir değişiklik gösteren elektriksel cihazlardır.”[1] Koruma röleleri için de şu tanımı kullanır: “Görevi; arızalı hatları, cihazları ve diğer anormal veya tehlikeli durumda olan güç sistemi koşullarını uygun devre kontrolü işlemini gerçekleştirmek için tespit etmek olan röleler.”[2].

Enerji dağıtım sistemlerinin temel amacı, elektrik enerjisini mümkün olan en güvenilir, en asgari kesinti sayısı ve süresi ile; en ekonomik şekilde kullanıcılara sunmaktır. Bu amaçla; meydana gelen hatalar ve arızaların hem elektrik sistemlerine ve ekipmanlara etkilerinin en aza indirilmesi hem de kullanıcıların görebileceği muhtemel zararların en aza indirilmesi için koruma ve kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Koruma sistemleri şebekedeki elektriksel büyüklükleri takip eder ve belirlenmiş parametreler sayesinde hızlı ve güvenilir bir şekilde arızaları tespit edip gerektiğinde arızalı ekipmanları devreden çıkarırlar.

Rölelere haberleşme teknolojilerinin eklenmesi ve farklı protokollerle haberleşebilen rölelerin ortaya çıkmasıyla klasik rölelere göre daha akıllı ve etkin dijital röleler koruma sistemlerinde kullanılabilir. Ayrıca rölelerin dijitalleşmesi şu gelişmeleri beraberinde getirmiştir:

- Harmonikler vb. büyüklüklerin kolayca hesaplanması
- Gerçek zamanlı verilerin okunması, işlenmesi ve uzak bölgelerle güvenilir, sağlıklı bir şekilde veri alışverişi sağlanması
- Otomatik arıza tespiti ve koruma özelliği ile sürekli iletişimde olması

Koruma sistemlerinde klasik rölelerle sağlanan geleneksel yöntemler önceden yapılmış hesaplara ve modellemelere dayanır. Bu da farklı durumlar için sabit parametreler anlamına gelir. Geleneksel yöntemler değişken durumlara adapte olamazlar ve doğru karar verme yetenekleri sınırlıdır. Klasik rölelerin yetersiz kaldığı, hatalı çalışmalar yaptığı durumlarda dijital röleler çözüm sunabilmektedir. Koruma yaptıkları sistemden haberdar olarak, ekipmanların durumu, arıza noktası, arızanın devam edip etmediği gibi bilgilere sahip bir şekilde çalıştıkları için mevcut koruma parametrelerini sistemdeki güncel duruma göre yenileyebilirler. Bu şekilde dinamik haldeki sisteme adaptif bir koruma sağlarlar.

Adaptif koruma birden çok sayıda enerji besleme durumuna sahip olan dağıtım sistemlerinde arızaların giderilmesine çözüm sunmaktadır. Adaptif koruma sistemlerindeki koruma röleleri farklı besleme durumlarına göre farklı ayar parametrelerini kullanabilir. Bu sayede adaptif koruma yöntemi, koruma sisteminin; dağıtım sisteminin o anki duruma göre en uygun parametrelerle güvenli bir

şekilde çalışmasını sağlar. Adaptif koruma sağlandığında koruma ve kontrol iç içe geçen bir yapıda olur. Adaptif koruma bir bakıma da geri beslemeli bir kontrol sistemi olarak görülebilir. Buna örnek olarak kesicilerin tekrar kapanması verilebilir.

Arıza noktalarından ölçülen akım, gerilim, frekans gibi parametreler dikkate alınır ve buna bağlı olarak rölelerin ayar akımları ve cevap verme zamanları belirlenir. Bu durum adaptif koruma ve röle koordinasyonunda temel işlemdir. Adaptif korumada rölenin açma-kapama sinyali vermesi için röle ayar değeri dinamik olarak belirlenir. Kurulu diğer röleler ile haberleşilerek onların da durumları incelenir. Bu haberleşmede, indirici merkezlerdeki standart haberleşme sistemleri için belirleyici olan IEC 61850 standardı baz alınır.

IEC 61850 standardı güç sistemleri otomasyonunda en çok kullanılan standarttır. Bu standardın ana amacı farklı üreticilerin otomasyon cihazlarının birlikte çalışabilirliğini sağlamaktır [3]. Standart, bu amaca ulaşmak için:

- Çeşitli cihazlar arasında paylaşılacak bilgileri tanımlayan soyut bir model sunar.
- Paylaşılacak bilgilere dayanan gerçekleştirilebilecek eylemleri tanıtır.
- Bilgi alışverişini uygulamak için bazı protokoller önerir.

Literatürde, rölelerin optimal koordinasyonunu sağlamak için çeşitli ağırlıklardaki kısıtlamalar dahil bir dizi Amaç Fonksiyonu geliştirilmiştir. Bu fonksiyonların performansları, en iyi fonksiyonu bulabilmek için, IEEE 30-bara sisteminde Sıralı ikinci dereceden Programlama (Sequential quadratic Programming) yöntemi ile karşılaştırılabilmektedir [4].

Yönlü aşırı akım röleleri, iletim ve dağıtım sistemlerinin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Geleneksel olarak, gerilim profili, yön koruma için polarize bir referans miktarı olarak kullanılır. Yakın sonuçlar sırasında, geleneksel röle tekniği, gerilim referans sinyalini kaybeder. Ayrıca, yöntemin uygulama maliyeti, potansiyel trafoların kurulmasını gerektirdiğinden dağıtım sistemlerinde artmaktadır. Sadece arıza sonrası akım sinyali gerektiren ve gerilim sinyali gerektirmeyen arıza yönünün tanımlanması bir yöntem olarak kullanılabilir. Arıza sonrası akım ve arıza sonrası akım fazörü baz alınan referans sinyali arasındaki açı farkı arıza yönünü belirler. [5]

Şebeke sistemindeki değişiklikleri takip edebilen röle ile adaptif koruma sağlayabilmek için faydalanılabilecek bir diğer yöntem de yapay zekâ uygulamalarıdır. Basamaklı ileri sinir ağının kullanılması (Cascade Forward Neural Network) röle eğrilerinin modellenmesi için çözümlerden biridir [6]. Yapay zekâ uygulamalarına ek olarak bulanık mantık, karar ağaçları da kullanılmıştır. Ayrıca düşük frekanslı test sinyallerinin kullanılması önerilmiş ve Dalgacık Dönüşümünün kullanılması da benimsenmiştir [7].

Akıllı şebekelerde, var olan geleneksel sistem ekipmanları olarak aşırı akım, mesafe gibi birçok koruma rölesi kullanılmaktadır. Aşırı akım röleleri koruma sistemlerinde önemli bir yere sahiptir. Aşırı akım rölelerinin karakteristiklerinden ters zaman karakteristiği, arıza akımı ayar değerinden ne kadar farklıysa çalışmadaki zaman gecikmesinin o derece kısa sürede olmasıdır. Aşırı akım rölesinin temel görevi, seçicilik özelliği gereği, herhangi bir arıza durumunda mümkün olan en kısa sürede devreye girerek arızalı bölgenin sistemden ayrılmasını ve sistemin geri kalanının sağlıklı bir şekilde çalışmaya devam etmesini sağlamaktır [8].

Güç sistemlerinde yönlü aşırı akım rölelerini optimum şekilde ayarlamak için önerilen bir başka yöntem de Gelişmiş İstilacı Yabancı Ot Optimizasyonu (Improved Invasive Weed Optimization-IWO) algoritmasıdır. Optimum röle koordinasyon problemi, doğrusal olmayan kısıtlı bir optimizasyon olarak formüle edilmiştir ve önerilen algoritma ile çözülmüştür. IEEE 30 bara sisteminde test edilmiştir [9].

Yeni dağıtım sistemlerinde doğru ve hızlı arıza tespiti ön plana çıkmaktadır. Doğrusal olmayan cihazların eklenmesi, arızanın oluşma oranını arttırmıştır ve bu nedenle arızayı kısa aralıklarla tespit etme ve gidermeye ihtiyaç duyulmuştur. Akıllı cihazların dahil edilmesi arıza tespit süresini azaltmıştır. Arıza tespit algoritmalarının çoğu iterasyon ve ağ topolojisinin bir dizi varsayımını kullandığından, genellikle hesaplanan arıza mesafesi ile gerçek arıza mesafesi arasındaki fark çok büyüktür. Arıza tespitinde Petri Ağlarını kullanmak bazı avantajlar sağladığı için çok faydalı olabilir. Petri ağları iterasyonlar kullanmaz ve giriş verilerine bağlı olarak hatayı tam olarak daraltabilir [10].

Geleneksel koruma şemaları ile karşılaştırıldığında, yön karşılaştırması açma süresini önemli ölçüde azaltabilir ve arıza akımının güç ekipmanı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilir. Böylece koruma sistemi, açma sürelerini önemli ölçüde azaltır ve bununla birlikte, dağıtım ekipmanının ısı gerilmesini azaltır ve yalnızca hatalı bölümlerin hızlı ve seçici tetiklenmesi nedeniyle tüm ağ boyunca gerilim düşümünü azaltır [11].

Geleneksel yönlü aşırı akım röleleri referans gerilim fazörünü, hatanın yönünü tahmin etmek için polarizasyon miktarı olarak kullanır. Yakın mesafedeki arızalarda geleneksel yön ayırt edici şema güvenilir değildir. Hat koruması için şöyle bir algoritma önerilmiştir. Polarizasyon miktarı olarak arıza öncesi akım sinyalini kullanır. Algoritma, arızanın yönünü tespit etmek için mevcut sinyalin üst üste binen bileşenini kullanır ve bu algoritma fazör tahmini gerektirmez [12].

Ağ topolojisi değişikliği, örgü ağdaki yönlü aşırı akım rölelerinin koordinasyonunu etkileyen sorunlardan biridir. Hattın bir tarafındaki rölenin hattın diğer tarafındaki röleye göre daha hızlı çalışması, ağ topolojisinin hata sırasında değişmesine neden olur ve diğer taraf rölesinden ve onun yedek rölesinden geçen kısa devre akımında değişikliğe neden olur. Bu durumda, ana ve yedek röleler arasındaki koordinasyon kısa devre akımındaki bir değişiklik nedeniyle bozulabilir. Önceki çalışmalar, topoloji değişiminden önceki kısa devre akımı ile bu sorunun üstesinden gelmek için rölelerin koordinasyonundaki topoloji değişiminden sonraki kısa devre akımı arasındaki en yüksek kısa devre akımını kullanır. Bu probleme çözüm olarak önerilen yeni bir yöntem ise Dinamik Yönlü Aşırı Akım Rölesi modeline dayanan koordinasyon yöntemidir, ağ topolojisi değişikliğinin kısa devre boyunca etkisini değerlendirmek için sunulmuştur. Bu yöntem, aşırı akım rölesi ve doğrusal programlama dinamik modelinin kullanılmasına dayanmaktadır. Bu yöntem sayesinde, rölelerin çalışma sürelerinin optimum değerleri sağlanır; ana ve yedek röleler arasındaki tüm kısıtlamalar belirlenir [13].

Tablo1. Mevcut Arıza Tespit yöntemlerinin avantajları/dezavantajları [14]

Yöntem	Empedans	Gezen Dalgalar
Prensip	Gerilim ve akım, arızaya olan mesafeyle orantılı olan empedansı hesaplamak için hattın bir veya iki ucunda ölçülür.	Arıza nedeniyle üretilen dalgalanma sinyali, dalganın hızına ve hattın bir veya iki ucuna varma zamanına bağlı olarak arıza yerini hesaplamak için kullanılır.
Gerekli Veri	Hat empedansı Faz gerilimi ve akımı Doğru hata tipi	Hat uzunluğu Dalga hızı Doğru zamanlama
Sınırlama	Ekstra yüksek gerilim hatları için geçerli değildir. Kondansatör ile kompanze edilmiş 3 terminalli hatlar için geçerli değildir.	3 terminalli hat kullanıldığında düşük doğruluk. Dengesiz ve kompanze edilmiş hatlarda düşük doğruluk.
Doğruluk	Reaktans etkisi ve sıfır dizi karşılıklı eşleşmenin etkisi nedeniyle hata gösterir. Düşük ve yüksek empedans hataları için düşük doğruluk verir.	Düşük empedans hataları için düşük doğruluk. Gönderici ve alıcı uçların yakınlarında yanlış sonuç verir.

Teknolojik gelişmeler ve piyasadaki talep nedeniyle birçok fonksiyonun tek bir donanımda biraraya getirilmesi hedefiyle tasarlanan, bu çalışmanın konusu dijital kontrol rölesi aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Ölçü, kontrol ve koruma özellikleri
- Üzerindeki tuş takımı ve haberleşme portları vasıtasıyla fonksiyonların aktif hale getirilebilmesi
- RS 485 portu ile IEC 60870-5-103 protokolüne uygun haberleşme olanağı
- Ethernet portu ile IEC 61850 standardına uygun haberleşme olanağı

Ayrıca, cihaz 2 ölçüm seti kullanılması; cihazın hem analizör hem de koruma ekipmanı olarak çalışmasına olanak sağlar. Cihaz bu yönleriyle mevcut dijital koruma röleleri arasında ön plana çıkmaktadır. Bu özellikleriyle literatüre katkıda bulunacaktır.

Teknolojideki ilerlemeler doğrultusunda, gelecekte şebekelerin daha fonksiyonel ve uzaktan izlenebilir; akıllı bir yapıya sahip olmaya evrileceği öngörülmektedir. Bu yeni duruma kolayca uyum sağlayabilen akıllı koruma röleleri ileride ön plana çıkacaktır. Bu kapsamda geliştirilen rölenin akıllı şebekelerde verimli bir şekilde çalışabileceği öngörülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Koruma Sistemleri

Elektrik enerji sistemleri; işletme elemanları, tesisler ve şebeke ile elektrik enerjisini kesintisiz bir şekilde üretmek, iletmek ve dağıtmak için uygun şekilde kurulur ve işletilir. Bu amaca rağmen elektrik enerji sistemlerinde yaşanabilen istenmeyen durumlar üretimin, iletimin ve dağıtımın kesintisiz bir şekilde yapılmasına olumsuz etki etmektedir. Bu olumsuz etkiyi en düşük seviyeye getirebilmek, elektrik enerji sistemlerini ve alt bileşenlerini korumak; hedeflenen şartlarda sistemin işletilmesini sağlamak ve sistemi tehlikeye sokacak arıza durumlarında, arızalı bileşeni sistemden çıkarabilmek için kurulmuş sistemlere koruma sistemleri denir. Koruma sistemlerinin görevi, elektrik enerji sistemlerinde ortaya çıkan arızaları elektirsel ölçümlerle tespit etmek, sınıflandırmak ve mecbur kalınan durumlarda arızalı bileşeni sistemden çıkararak; sistemin sağlıklı bir şekilde çalışmaya devam etmesini sağlamaktır [15]. Bu nedenle koruma sistemleri uygun şekilde kurulmuş olmalı ve sürekli çalışır durumda olmalıdır. Koruma sistemlerinden aşağıdaki özellikleri taşınması beklenir.

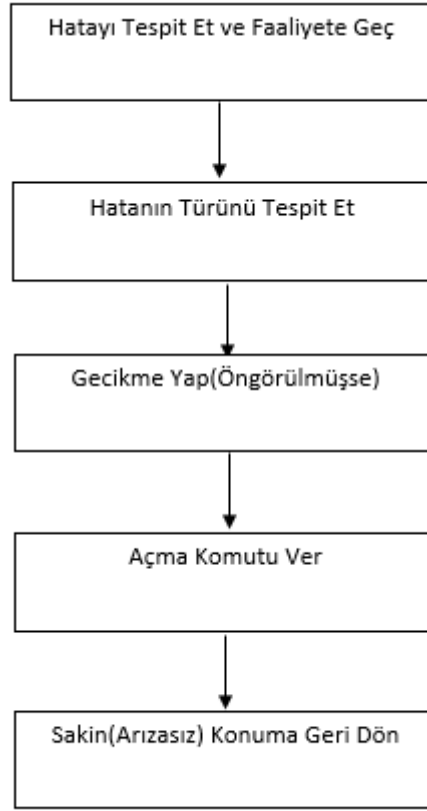
1. Seçicilik
2. Süratli çalışma
3. Güvenilirlik
4. Yedek koruma
5. Kararlılık
6. Ekonomiklik

Koruma sistemleri aşağıdaki bileşenlerden meydana gelmektedir:

- Kesiciler,
- Ölçü transformatörleri,
- Koruma röleleri,
- Yardımcı ekipmanlar

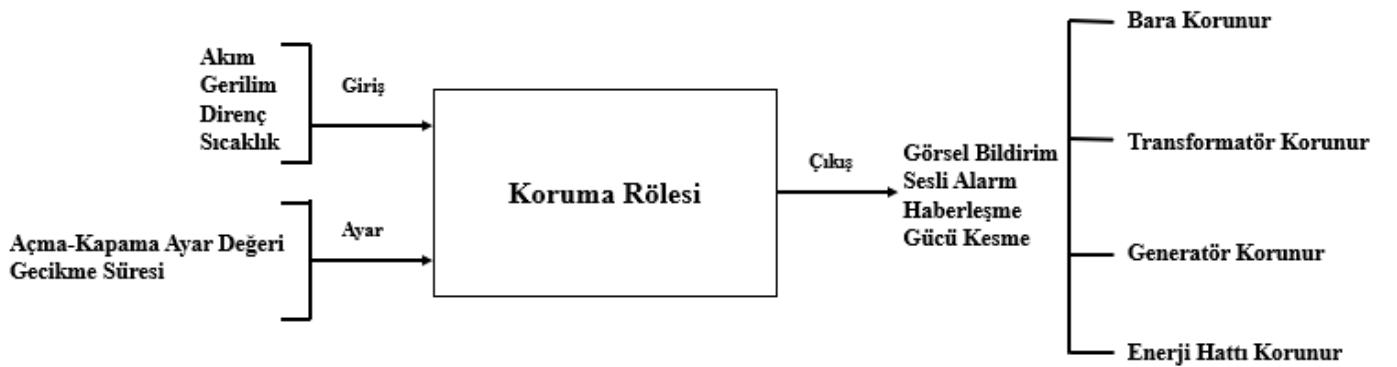
2.1.1. Koruma Sistemlerinde Röleler

Röleler giriş uçlarından aldıkları elektriksel sinyale göre çıkış uçlarından elektriksel bir tepki verirler. Röleler, çıkış kontakları vasıtası ile verdikleri bu tepki ile bir elektrik devresini kontrol ederler. Koruma sistemlerinde rölelerin, arıza durumlarında aldıkları elektrik sinyalleri ile çalışma akışları Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Koruma rölelerinin arıza durumlarındaki çalışma akışı [8]

Koruma röleleri elektriksel sinyalleri alıp ayarlanan değerlerle karşılaştırıp bu karşılaştırmaya göre çıkış veren cihazlardır. Elektriksel girişler akım, gerilim, direnç ya da farklı olarak sıcaklık olabilir. Röle çıkışları ise görsel bildirim için ışık ya da sesli uyarı, ekranlarda değer bildirimini, haberleşme sinyalleri, kontrol uyarıları ya da enerjiyi açma kapama için kesiciye gönderilen sinyal olabilir.



Şekil 2. Koruma Rölesi giriş ve çıkışları

Koruma röleleri oluşabilecek arızalara veya aşırı yüklenmelere sistemin sağlıklı çalışması için koruma görevi üstlendiklerinden taşıdıkları önem yüksektir. Generatör, transformatör, bara, hat gibi şebeke elemanlarında oluşabilecek kısa devre veya izolasyon hatasıyla oluşabilecek aşırı akım, aşırı gerilim arızalarının verebileceği zararlara karşı sistemi ve sistemin alt bileşenlerini röleler korur [16].

Koruma röleleri, teknolojilerine göre klasik röleler ve dijital röleler olarak ikiye ayrılır. Klasik ve dijital röleler karşılaştırıldığında,

- Dijital koruma röleleri birden fazla fonksiyonu tek bir donanın içerisinde gerçekleştirebilirken klasik röleler bu fonksiyonları gerçekleştirebilmek için ek ekipmanlara ihtiyaç duyarlar.
- Dijital koruma röleleri haberleşme özellikleri sayesinde diğer cihazlarla haberleşebilir. Bu yüzden otomasyona daha elverişlidir.
- Dijital koruma rölelerine, yazılımlarını güncellemek vasıtası ile, yeni fonksiyonlar kazandırılabilir. Klasik rölelerde ise bu mümkün değildir.
- Herhangi bir arıza durumunda dijital rölelerin açma ve normale dönme süreleri klasik rölelere göre daha kısadır.
- Dijital koruma röleleri klasik rölelere göre daha az bileşen içerdiği için daha az enerji tüketirler.
- Dijital röleler, herhangi bir arıza durumunda; arıza öncesi ve arıza anında akım, gerilim, frekans gibi elektriksel değerleri kaydettiği bir hafızaya sahiptir ve bu değerle ile sürekli hesaplama yapar.
- Dijital röleler sürekli kendilerini kontrol ederler. Kendi arızaları varsa bildirirler. Dijital rölelerin sürekli yazılımlarını ve donanımlarını otomatik olarak kendileri kontrol etmeleri bakım maliyetlerini azaltır.
- Dijital rölelerde mikroşlemci teknolojisi ve gömülü yazılım olduğu için ölçüm doğruluğu ve güvenilirlik klasik rölelere göre daha yüksektir.
- Dijital rölelerin çalışması menü-tabanlı olduğu için kullanımı basit ve güvenilirdir. Sahip olduğu ekran sayesinde arıza durumu ve arıza ile ilgili bilgiler, arıza değerleri rahatlıkla izlenebilir. Bu değerler kayıt altına alınıp bilgisayar vasıtası ile rapor haline getirilebilir.
- Dijital rölelerin elektriksel dayanımları daha fazladır ve harmoniklerden etkilenmemeleri için filtreleri mevcuttur.

Açık gerilim seviyesinde koruma rölesinin kumanda ettiği açma-kapama elemanı kontaktör, orta ve yüksek gerilim seviyesinde ise kesicidir. Koruma fonksiyonlarına göre çeşitli koruma röleleri bulunmaktadır. Bunlar,

- Aşırı akım koruma rölesi
- Düşük ve yüksek gerilim koruma rölesi
- Diferansiyel röleler
- Mesafe(impedans) röleleri
- Toprak kaçığı röleleri

olarak sıralanabilir. Elektrik enerji sistemlerinde en yaygın olarak aşırı akım rölesi ve mesafe rölesi kullanılır.

Aşırı Akım Rölesi: Aşırı akım rölesi sisteme bir ölçü transformatörü üzerinden bağlanır. Ölçtüğü değer ayarlanan değerden yüksek ise kesiciye açma sinyali gönderir ve arızayı sistemden ayırır. Aşırı akım rölelerinin farklı üreticileri olsa da çalışma prensibi temelde aynıdır. Sabit ve ters zamanlı olarak iki farklı tipteki çalışma prensibine sahip aşırı akım rölelerinin arasındaki tek fark açma zamanının ayarlanması ile ilgilidir.

1. Sabit Zamanlı Aşırı Akım Rölesi (Bağımsız Karakteristikli): Açma zamanı sabittir. Arıza akımı değerinden ve arıza mesafesinden bağımsız olarak sabit sürede açma yapar.

2. Ters Zamanlı Aşırı Akım Rölesi (Bağımlı Karakteristik): Açma zaman gecikmesi sabit değildir. Akım değerine ve zaman çarpanına bağlıdır. Akım değeri arttıkça açma süresi kısalmır. Bu bakımdan avantajlıdır.

Aşırı akım röleleri koruma sistemlerinde en çok kullanılan rölelerdir. Aşırı akım röleleri, koruma sisteminde en iyi seçiciliği ve en iyi koordinasyonu sağlamak için kararlı durumdaki kısa devre simülasyonlarına göre ayarlanır. Fakat bazı durumlarda, tüm arıza senaryolarını kapsayacak şekilde aynı fonksiyonellik altında birden çok ayar tanımlamak gerekmektedir. Manuel müdahaleleri önlemek için ayarlarını otomatik değiştirebilen daha adaptif rölelere ihtiyaç vardır [17].

Yönlü Aşırı Akım Rölesi: Yönlü aşırı akım röleleri sadeliği, maliyet etkinliği ve doğruluğu nedeniyle tercih edilir. Yönlü aşırı akım röleleri, akımın halka(ring) ana sistemler için fiderlerin her iki tarafından beslendiği yerlerde, paralel fiderlerde kullanılır. Bu gibi durumlarda röle elemanının, yanıt vermesi gereken hataları ve sınırlandırması gereken diğer parametreleri ayırt etmek için ek bir belirleyicilik özelliği bulunmalıdır. Ayrıca, 'seçicilik', yalnızca hata akımlarının büyüklüğüne bağlı olması durumunda yeterli olmayacaktır. İşlem için akım ve faz açısı değerleri gerekir. Böylece iki ayrı gerilim ve akım sinyali, akım ve faz açısının büyüklükleri hesaplanabilir ve bir girdi olarak alınabilir [18]. Böylece akım yönüne bağlı olarak arıza yönü tespit edilir ve yalnızca arızalı bölüm sistemden ayrılır.

Mesafe Rölesi: Mesafe röleleri sisteme bağlı oldukları ölçü transformatörleri üzerinden aldıkları akım ve gerilim bilgileri ile bir empedans değeri hesaplarlar. Bu empedans değerindeki değişime göre önceden ayarlanmış gecikme süresine uygun bir şekilde koruma görevlerini yerine getirirler. Ölçülen bilgilerle hesaplanan empedans değeri, arıza noktasının röleye olan mesafesine bağlıdır. Empedans değeri hattın uzunluğu ile doğru orantılıdır [19].

Akıllı Şebekelerde Koruma Röleleri

Akıllı şebeke, dijital bilgi ve iletişim teknolojisini kullanan modern elektrik şebekesini ifade eder. Akıllı Şebeke, geleneksel şebekedeki elektrik ve bilgi sistemlerinden gelen geleneksel tek yönlü akış yerine, dijital elektrik teknolojisine sahip bir hizmet sağlayıcı ile müşteriler arasında, iki yönlü bir iletişim ve enerji akışı oluşturur. Akıllı şebekeler, akıllı bağlantılarla güvenli, ekonomik ve sürdürülebilir akıllı bir elektrik ağıdır [20].

Geleneksel şebeke ve akıllı şebeke karşılaştırıldığında akıllı şebekelerin avantajları ön plana çıkmaktadır [21].

- Hataları ön görüp engelleyebilir.
- Tehlikelerden ve tehditlerden emindir.
- Son kullanıcı ve piyasa ile etkileşimlidir.
- Hem varlıklara hem de verilere göre dağıtılmıştır.
- Öngörülen / tespit edilen sorunları düzeltmek / ayırmak için kendi kendini iyileştirebilir.
- Kaynakların verimli kullanımını sağlamak için optimize edilebilir.
- Verileri bilgiye dönüştürebilir.

Ayrıca;

- Akıllı şebekeler tamamen koordinasyona sahip, üretken ve güvenilir bir modda yönetilir. Teknoloji sayesinde otomasyondan faydalanılır. Anlık değişimlere hızlıca yanıt verir.
- “Kendini kontrol etme ve iyileştirme” özelliği sayesinde sistemdeki talep edilen enerjiyi karşılar, süreklilik sağlar ve güven oluşturur.
- Çok sayıda son kullanıcıya hizmet vermesi durumunda ve ilerleyen dijital ekonomi teknolojileri ile ortaya çıkan verinin uygun, zamanında ve güvenli bir şekilde akışını sağlayan bu verilerin keşfedilmesini ve işlenmesini sağlayan bir platforma olanak sunar.

Akıllı şebekelerde değişen işletim koşullarına ve yük akışına göre uygun koruma sistemi kurabilmek için hızlı ve güvenilir ekipmanlara ihtiyaç vardır. Yük akışının yön değiştirmesi durumuna uyum sağlayabilen, seçicilik özelliğine göre farklı arızaları ayırt edebilen ve oluşabilecek geniş çaplı elektrik enerjisi kesintilerini önceden tahmin edip farklı açma kapama karakteristikleri sergileyebilen bir akıllı sistemin, akıllı şebekelerde koruma görevini yerine getirmesi gerekmektedir. Bu şekilde, arızalar daha iyi kısıtlandırılarak daha verimli ve daha aktif bir koruma sağlanır. Sistem ekipmanları üzerindeki yük azaltılır. Akıllı şebekelere uyumlu yeni nesil koruma sistemlerinin geliştirilmesiyle akıllı şebekelerin değişken işletim koşullarına uyum sağlayabilecek adaptif bir koruma ve kontrol sağlanması önemli bir konudur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Geliştirilen Dijital Koruma Rölesi

Teknolojik gelişmeler doğrultusunda ve piyasadaki talep nedeniyle birçok fonksiyonu tek bir donanımda bir araya getirebilmek için yeni bir dijital koruma rölesi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu rölenin hedeflenen özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Elektrik dağıtım şebekelerinde kullanılmak üzere kontrol, ölçü ve koruma fonksiyonları içermesi,
- Fonksiyonların, röle üzerindeki tuş takımı ve haberleşme portları üzerinden aktif hale getirilebilmesi,
- Doğrudan akım trafosuna bağlanabilmesi,
- RS 485 portu ile IEC 60870-5-103 protokolünü kullanarak iletişim yapabilmesi,
- USB portuna sahip olması,
- Ethernet portu ile bir otomasyon sistemi içerisinde IEC 61850 standardına uygun haberleşme özelliklerini sağlaması

Hedeflenen cihazda 2 ölçüm seti kullanılarak ürünün hem analizör hem de koruma ekipmanı olarak çalışması sağlanmıştır. Cihaz aşağıdaki koruma özelliklerini tek bir donanımda sunmaktadır.

Auto reclose: Hatanın ortadan kalması durumunda rölenin güvenli bir şekilde devreye alınmasıdır.

Fault locater: İletim hattının bilinen karakteristikleri kullanılarak hatanın hangi mesafede olduğunun bulunmasıdır.

Cold load pick up: Bir dağıtım şebekesi tekrar enerjilendiği zaman oluşan aşırı akım durumunun değerlendirilmesi, soğuk yük üzerine kapatabilmesidir.

Yönlü koruma: Korumanın hatanın olduğu yöne göre uygulanmasıdır.

Thermal overload: Bilinen trafo karakteristiklerine göre sıcaklığın ne zaman yükseleceğinin hesaplanmasıdır.

Sistemde kullanılması gereken transformatörler hariç her şeyin tek bir cihaz içerisinde olup kullanılması kolay bir ürün olması hedeflenmiştir.

Ürün geliştirilirken kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir:

- Geliştirilen üründe sayısal işaretlerin, röle karakteristiklerinin, set değerlerinin, kararlarının saklanması ve yazılımın işlenmesi için, dijital giriş çıkış ve haberleşme birimlerine sahip mikroişlemci kullanılmış ve programlanmıştır.
- Enerji dağıtım şebekelerindeki akım ve gerilim ölçümü için donanım tasarımı sırasında manyetik değişkenlerin ölçümü ve kontrolü yöntemi kullanılmıştır.
- Koruma sistemlerine uygun özellikleri taşıyabilmesi için algoritmalar geliştirilmiştir.
- Cihaza bilgisayar ile uzaktan bağlanabilme, izleme ve konfigüre edebilme özelliklerini sağlayabilmek için çeşitli haberleşme protokollerine uygunluk sağlanmıştır.

Laboratuarda yapılan testler dışında cihaz sahada dört farklı noktaya yerleştirilmiş ve sahadan gelen geri bildirimlere göre güncellenmiştir. Cihazı yerleştirildiği noktalar:

- Sancaktepe Operasyon Merkezi
- Tuzla'da bir trafo merkezinde bir hücre
- OG hücre Fabrikası / Ankara
- OG Hücre ve Trafo Fabrikası / Ankara

Cihaz prototip üretimi gerçekleştikten sonra DATAKOM Elektronik Mühendislik Anonim Şirketi'nin kazandığı Ar-Ge yetkinlikleri şunlardır:

- Üzerinde çalışılan IEC 60870-5-103 standardına uygun haberleşme başlığı ile işletim sistemi olmayan bir cihazda çoklu-görev çalışması gerçekleştirilmiştir.
- Tek bir üründe toplanan koruma fonksiyonları aşağıdaki gibidir:
 - Düşük gerilim koruma (27)
 - Arıza yeri tespit edici (FL)
 - Aşırı gerilim koruma (59N)
 - Termik koruma (49)
 - Açma devresi denetimi (74TCS)
- IEC 61850 standardına uygun haberleşme özelliği Datakom ürün tasarımları arasına bu ürün ile girmiştir. Temel olarak gerçekleştirilmiş, Datakom Haberleşme protokolleri arasına kazandırılmıştır.

Elde edilen dijital koruma rölesi, modern teknolojiyi kullanan, standart panelmetre boyutlarında, renkli ekranlı ve yönlü bir koruma rölesidir. Düşük derinliği sayesinde panoda yer tasarrufu sağlamaktadır. Cihaz hassasiyet, kullanım kolaylığı ve esneklik özelliklerini güvenilir ve düşük maliyetli bir tasarımla birleştirir.



Şekil 3. Dijital koruma rölesinin ön ve arka yüzden görünümü

Cihazın katalog özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Çift devreli akım ölçüm girişleri sayesinde cihaz, hem %0,5 hassasiyet sınıfı bir analizör, hem de 50xIn ölçebilen bir koruma rölesidir.
- Cihaz hassas koruma sağlamak için çeşitli koruma eğrilerine sahiptir. Birden fazla koruma eğrisi aynı anda aktif edilebilir durumdadır.
- Cihazın 4.3 inç boyutundaki renkli ekranında birçok ölçüm aynı anda izlenebilmektedir. Büyük ekran, kullanım kolaylığı ve birçok bilgiye ulaşmayı sağlar.
- Cihaz USB, izole RS-485 ve Ethernet portları sayesinde çeşitli SCADA sistemlerine kolayca bağlanır ve uzaktan izlemeye olanak sağlar.
- RS-485 üzerinden MODBUS ve IEC60870-5-103 haberleşme protokollerini destekler.
- Ethernet portu üzerinden ise MODBUS TCP/IP ve IEC61850 protokollerini destekler.
- Parametre ayarı ön paneldeki tuşlardan veya ücretsiz verilen PC programı ile yapılır. Program cihaza USB, RS-485 veya istenirse internet üzerinden bağlanır. Ayrıca USB portu üzerinden de yazılım güncellemesi yapılabilmektedir.
- Cihazın röle çıkışlarından iki tanesi bağlantı izleme özelliğine sahiptir. Bu çıkışlar yük devresinin devamlılığını sürekli kontrol eder, devre açılırsa alarm verir.
- Cihaz 1MB dahili hafızasına 20 adede kadar COMTRADE formatında osilografik kayıt alır.
- Cihaz endüstri ürünleri için güvenlik, EMC, titreşim ve çevre standartlarını karşılar.

4. Sonuç

Üretim, iletim, dağıtım ve tüketimden meydana gelen elektrik enerjisi sisteminde, alt bileşenlerin ve tüketicilerin arızalardan korunması ve elektrik enerjisi kalitesinin sağlanması için koruma sistemlerinin görevlerini, doğru ve seçici bir şekilde çalışarak süreklilikle yerine getirmeleri gerekmektedir. Ancak üretimden tüketime kadar oluşan bu süreçte koruma sistemleri bazı hatalarla/arızalarla karşılaşmaktadır. Etkili oldukları bölgelerde işletme koşullarının değişmesi, koruma sistemlerinin farklı arızalara maruz kalmasına neden olmaktadır. Mevsimsel tüketim değişiklikleri, işletmelerdeki besleme yönünün değişmesi gibi farklı durumlarda farklı uyumluluk gösterebilecek adaptif koruma sistemleri yeni nesil şebekelerin sürdürülebilirliği için gereklidir. Adaptif korumanın gerçekleştirilebilmesi için koruma sisteminin en çok öneme sahip elemanlarından biri olan koruma rölelerinin yüksek teknoloji içeren, birçok koruma özelliğini bir arada bulunduran akıllı donanımlar olmaları gerekmektedir.

Bu çalışmada birçok koruma fonksiyonunun tek bir donanımda sunulduğu bir dijital koruma rölesinin tasarımı, gerçekleşmesi ve test edilmesi ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu kapsamda;

- Elde edilen dijital koruma rölesinde toplanan koruma fonksiyonları aşağıdaki gibidir:
 - Düşük gerilim koruma (27)
 - Arıza yeri tespit edici (FL)
 - Aşırı gerilim koruma (59N)
 - Termik koruma (49)
 - Açma devresi denetimi (74TCS)
- Elde edilen koruma rölesi, standart prosedüre göre test edilmiştir. Laboratuvar ve saha testleri tamamlanmıştır. Alçak Gerilim Direktifine ve Elektromanyetik Uyumluluk Yönetmeliğine uygundur ve gerekli sertifikalar alınmıştır.
- Test sonuçları, elde edilen rölenin ölçümleri ve hesaplamaları doğru yaptığını, doğru zamanda açma-kapama işlemini gerçekleştirdiğini göstermektedir.
- Geliştirilen röle yazılımı hatalı/arızalı durum ile sağlıklı durumu ayırt edebilmektedir.
- IEC 61850 ve MODBUS haberleşme protokollerine uygunluk gerçekleştirilmiştir.
- Cihaz, SCADA uzaktan izleme ve kontrol yazılımları ile uyumlu çalışmaktadır.

Mevcut röle, gelecek çalışmada daha da geliştirecektir. Özellikle arıza noktası belirleme özelliğinin iyileştirilmesi ve hat kopukluğu arızasını tespit edebilme özelliğinin eklenmesi planlanmaktadır. Hat kopukluğu uzun süreli enerji kesintilerine neden olan bir arızadır. Hattın her iki noktasından da çevrimiçi ölçümler yapılarak hat akımının 0 A olduğu durumlar takip edilip arıza durumları tespit edilecektir. Ayrıca yapılan ölçümlerle arıza noktasını tespit etme çalışmaları da yapılacaktır. Arıza noktasının röle tarafından tespit edilmesi zaman kaybını önleyecek bir çalışma olacaktır. Böylece mevcut dijital koruma rölesi planlandığı şekilde geliştirildiğinde endüstride ve literatürde daha da önemli bir yer edinecektir.

Ek Bilgi

Bu çalışma TÜBİTAK 3160576 nolu “Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Kullanılmak Üzere Çok Fonksiyonlu Dijital Aşırı Akım Rölesi Tasarımı ve Geliştirilmesi” isimli proje kapsamında desteklenmiş olup DATAKOM A.Ş. iş birliği ile yapılmıştır.

Kaynakça

- [1] IEEE C37.90 (2006). IEEE Standard for relays and relay systems associated with electric power apparatus, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA.
- [2] IEEE 100 (1996). The IEEE standard dictionary of electrical and electronics terms, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA.
- [3] Alvarez de Sotomayor, A., Della Giustinaa, D., Massa, G., Dedè, A., Ramos, F., Barbatoa, A. 2018. IEC 61850-based adaptive protection system for the MV distribution smart grid, *Sustainable Energy, Grids and Networks* (15), 26-33
- [4] J. Shah, N. Khristi, V. N. Rajput and K. S. Pandya, A comparative study based on objective functions for optimum coordination of overcurrent relays, 2017 7th International Conference on Power Systems (ICPS), 2017, Pune, India
- [5] Kiaei, I., Lotfifard, S., Ghanaatian, M. 2019. Current-only Directional Overcurrent Protection Using Postfault Current. 2019 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC), February 2019, TX, USA
- [6] A. Sahrin, A. Tjahjono, M. Pujiantara and M. H. Purnomo, The modeling of directional overcurrent relay in loop system using cascade forward neural network, 2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Surabaya, 2017, 69-74.
- [7] A. N. Milioudis, G. T. Andreou and D. P. Labridis, 2015. Detection and Location of High Impedance Faults in Multiconductor Overhead Distribution Lines Using Power Line Communication Devices, *IEEE Transactions on Smart Grid*(6), no. 2, 894-902
- [8] Ateş, Y. 2016. Dağıtık Üretim Tesisleri İçeren Şebekeler İçin Akıllı ve Adaptif Bir Koruma Metodunun Geliştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 123s, İstanbul
- [9] Srinivas, S.T.P., Shanti Swarup, K. 2019. Application of improved invasive weed optimization technique for optimally setting directional overcurrent relays in power systems, *Applied Soft Computing* (79), 1-13
- [10] Sreerama, R., Swarup, K. S. 2017. Detection, localization and fault diagnosis using PetriNets for smart power distribution grids, 2017 7th International Conference on Power Systems (ICPS), 2017, Pune, India
- [11] M. Bañas, M. Höger and J. Altus, "Application of the directional overcurrent relays with directional comparison system in medium voltage networks," *2018 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, Brno, 2018, pp. 1-6.
- [12] Nojavan, M., Seyedi, H., Mehdinejad, M. 2016. A novel scheme for current-only directional overcurrent relay, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* (82), 252-263
- [13] Mohammadzadeh, N., Mohammadi, R., Mahdi, C., Maleki, G. 2019. Optimal coordination of directional overcurrent relays considering two-level fault current due to the operation of remote side relay, *Electric Power Systems Research* (175)
- [14] Abu-Siada, A., Mir, S. 2019. A new on-line technique to identify fault location within long transmission lines, *Engineering Failure Analysis* (105), 52-64
- [15] Doğançı A.Ç. Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Adaptif Koruma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, İstanbul
- [16] Arıkan, O., Aydın, H., Gürsanlı, Ö. Yüksek Gerilim Enerji İletim Hatlarını Koruma Uygulaması, Güç Sistemleri Konferansı, İstanbul 2016
- [17] Momesso Antonio E.C., Maycon S. W., Eduardo B., Asadaa N. 2019. Fuzzy adaptive setting for time-current-voltage based overcurrent relays in distribution systems, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* (108), 135-144
- [18] R. Agarwal, T. G. Arora and R. Tiwari, "Designing of Numerical Directional Overcurrent Relay," *2018 International Conference on Smart Electric Drives and Power System (ICSEDPS)*, Nagpur, 2018, pp. 186-191
- [19] Bayrak, M., Usta, Ö. 2003. Adaptif Mesafe Rölesi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İstanbul 2003
- [20] Keyhani, A. 2011. Design of Smart Power Grid Renewable Energy Systems. Wiley Publication, 560s, Singapur.
- [21] Pehlivanoglu Gürbüz, K. 2019. Smart Grid Applications and Technologies in Distribution Systems, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 126s, Ankara



Unmanned Aerial Vehicles for Civil Engineering: Current Practises and Regulations

Sadik Alper Yildizel*, Gokhan Calis²

¹ Karamanoglu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5702-807X)

² Karamanoglu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID:0000-0001-7196-940700)

(First received 15 May 2019 and in final form 20 August 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.565499)

ATIF/REFERENCE: Yildizel, S. A. & Calis, G. (2019). Unmanned Aerial Vehicles for Civil Engineering: Current Practises and Regulations. *European Journal of Science and Technology*, (16), 925-932.

Abstract

Lately, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have been widely preferred in construction industry, and their applications are changing the way construction companies work. Yet, the productivity gap between manufacturing and construction is very high. With the help of UAV's, construction productivity can be developed. UAV's has many benefits for the civil engineering discipline and many various applications from inspection of any on-site activity to personal safety operations in construction projects. Site progress can be easily tracked by them and furthermore surveying can be done very fast without having people at site where might be dangerous. Eventhough current practices of UAV's use are limited, in the near future this will change not only in construction industry. Drones are gaining popularity not only locally but globally among the stakeholders including clients, contractors and consultant engineers for assessing complex and detailed situations. Use of UAV's enables project management professionals understand the problems, making decisions fast and taking required immediate actions. However, state and local regulations are limiting their usages and efficiencies. Construction companies must be aware of the regulations and risks in order to apply UAV technology to their projects. This paper aims to investigate the current practices of UAVs in construction industry by reviewing the published academic papers. Furthermore the different regulations set regarding use of drones in different countries and regions such as USA, EU, China and Turkey are also investigated. This research also comprises some legal recommendations to the Turkish authorities which might be beneficial to establish a solid structure for UAV's.

Keywords: UAVs, construction, regulations, Turkish regulations, comparison.

İnşaat Mühendisliğinde İnsansız Hava Araçları: Mevcut Düzenlemeler ve Uygulamalar

Öz

Son zamanlarda, İnsansız Hava Araçları (İHA) inşaat endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmiştir ve uygulamaları inşaat şirketlerinin çalışma şeklini değiştirmektedir. Ancak, üretim ve inşaat arasındaki verimlilik açığı çok yüksektir. UAV'lerin yardımıyla, inşaat verimliliği geliştirilebilir. İHA inşaat mühendisliği disiplini ve şantiye faaliyetlerinin denetlenmesinden inşaat projelerinde kişisel güvenlik operasyonlarına kadar birçok uygulama için fayda sağlayabilir. Sahadaki ilerlemeler onlar tarafından kolayca izlenebilir ve ayrıca sahadaki kişilerin tehlikeli olabileceği yerlerde bulunan kişilerle çok hızlı bir şekilde araştırma yapılabilir. Nihayet UAV'ın kullanımına ilişkin uygulamalar sınırlıdır, ancak yakın gelecekte bu sadece inşaat sektöründe değişmeyecektir. Dronlar, hem yerel hem

* Corresponding Author: Karamanoglu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5702-807X, sayildizel@kmu.edu.tr

de global olarak, karmaşık ve ve detaylı durumları değerlendirmek için müşteriler, müteahhitler ve danışman mühendisler dahil paydaşlar arasında popülerlik kazanıyor. UAV'lerin kullanımı, proje yönetimi uzmanlarının sorunları anlamasını, kararları hızlı bir şekilde almasını ve gerekli acil önlemleri almasını sağlar. Bununla birlikte, eyalet düzenlemeleri ve yerel düzenlemeler kullanımlarını ve verimliliklerini sınırlamaktadır. İnşaat şirketleri, İHA teknolojisini projelerine uygulamak için düzenlemelerin ve risklerin farkında olmalıdır. Bu makale, İHA'ların inşaat sektöründeki güncel uygulamalarını yayınlamak için düzenlemelerin ve risklerin farkında olmalıdır. Bu makale, İHA'ların inşaat sektöründeki güncel uygulamalarını yayınlamak için düzenlemelerin ve risklerin farkında olmalıdır. Bu makale, İHA'ların inşaat sektöründeki güncel uygulamalarını yayınlamak için düzenlemelerin ve risklerin farkında olmalıdır. Bu makale, İHA'ların inşaat sektöründeki güncel uygulamalarını yayınlamak için düzenlemelerin ve risklerin farkında olmalıdır.

Anahtar Kelimeler: İHA, inşaat, Türk düzenlemeleri, karşılaştırma.

Introduction

In terms of definition, an UAV is a flying aircraft without any pilot or passengers. UAVs are either remotely controlled through computer aided flight routes with the sensors or autonomously. They are generally equipped with a high-resolution camera for video broadcasting and recording(Rao, Gopi, & Maione, 2016). The first use of drones can be traced back to the 18th century. Unmanned balloons were used in France. Later on, USA intelligence agencies and military forces started to use UAVs for military operations in the early 2000' s(Aydin, 2019). Nowadays it is accessible to amateurs and commercial users in many types and price in the market. As of today, they are widely operated for civilian aims such as weather and traffic monitoring, and videography (Farber,2014). UAVs are designed over on existing aircrafts and they have different shapes. Among the other types, the military drones are the most expensive models. The prices in the market ranges from \$200 to \$45,000 depending on their payload options and the systems (Siebert,2014). Civilian drones can be classified into four main models: multi-copters, airships, fixed wing UAV and rotary blade UAV (Fig.1) (Wang,2016). The Table 1 summaries the limitations and the advantages of these four drone types.



Figure 1. Various types of UAV

Until end of the 1990's police Manned Aerial Vehicles (MAV) were operated by the police and medical services for providing live information or first aid purposes until the end of the 1990s. However currently UAV's replaced manned MAV's in the high risk and cost operations. Instead of endangering a helicopter by sending to hostage situation to gather intelligence, now UAV's are used(Anania et al., 2019). Furthermore, in daily operations such as monitoring the traffic flow UAV's provide police substantial information (Barmponakis et. Al,2016).

Table 1. Comparison of UAVs (Siebert and Teizer, 2014)

UAV type/ Features	Multi-copters	Rotary blade UAV	Fixed wing UAV	Airships
Range	Poor	Average	Very Good	Very Good
Flexibility	Very Good	Very Good	Poor	Average
Weather dependency	Good	Good	Good	Poor
Payload	Average	Very Good	Good	Very Good
Safety	Average	Poor	Average	Good
Complexity	Good	Poor	Average	Good
Operation cost	Very Good	Average	Average	Poor
Set up time	Very Good	Good	Average	Poor

The productivity gap between the construction sector and other industries increased approximately 70 % in the last decade (Changali, et al. 2015). One of the main reasons is that other sectors have been efficiently using integrated information systems. Similar systems such as Building Information System (BIM) has been widely preferred by the construction industry; however, this system do not reflect the real-world situations in a construction project like construction material and the cost. For this reason, they are more suitable for design and design related works. The efficiency gap should be filled with other technologies for the construction industry (Dupont et al., 2017).

Even though UAV's have been widely used in various industries for various reasons UAVs, currently are not able to perform any construction activities (Kavoosi et al., 2018). However, they are very useful for collecting live data, collecting surveying data (Zhang and Singh, 2014). Manned systems can be replaced to obtain accurate and live data collection. Apart from the beneficial part of the use of the UAVs, there are also issues like battery limitation and payload balance problem to be solved. Many academics have been working for improving these negative sides of the UAV usage (Floreano and Wood, 2015).

Flying drones are classified into two main categories for data collecting eyes: having laser based and mono stereo cameras. Laser based systems are not the cheapest and efficient solution for accurate data. Since supporting systems like 3D model creation tools are also required for obtaining aimed construction data (Nex and Remondino, 2014). Available UAVs missions during the design and construction phases are to scan the landscape of the site in 3-D view. The main purpose for design phases is to obtain integrated landscape of the project site by the aid of 3-D modelling software. Providing bird-eye view of the on-going project is the main goal of the operation of the UAVs in the time of all construction phases (Skycatch, 2017). Regular and autonomous monitoring of construction project is still performed by man based workforces with the help of various forms, schedules and photographs. Moreover, all collected data are not successfully and consistently integrated into any construction management systems. Several researches on the use of BIM platform has been conducted for a better integration (Cladas, Soibelman and Gasser, 2005). For collecting data parts, UAVs can be replaced efficiently with the human efforts (Goedert and Meadati, 2008).

Some current practices of the drone usage in civil engineering discipline all over the world are exemplified as follows: Sacramento stadium construction activities were monitored by a flying drone from the commencement day to hand-over date. This management preference eases the weekly and monthly planning works and allow to foresee the potential risks before they occur (Koon, 2015). Joint ventures like Komatsu-Skycatch and Caterpillar-Redbird used UAVs in their projects as having the bird-eye view of their project. After the receipt of on-site live and accurate data, they could right orders to construction robots to perform their tasks (Lavoie, 2015; BBC, 2016). Despite these breathtaking applications, many projects are executed for military purposes today (Chen, 2010; Cheung and Grocholsky, 2008). When monitoring large-based projects as dams and airports, using an air drone becomes a productive selection depending on its mobility (Morgenthal and Hallerman, 2014). A road condition assessment, especially on mountain roads was reported within the limit of 0.50 cm accuracy (Vilariona, 2016). Currently drones are not used in carrying loads in construction. However, in the near future with the development of technology they will be able to carry construction items to the high points. Addition to that, instead of having people working at height, drones will be able to weld steel which will save time and energy and also reduce the risks significantly. Considering these potential developments and use of UAV's in construction industry, the regulations should be investigated deeply and regulations should be structured in a way that sufficient to the needs and cover all the legal gaps.

Drones in Construction

Construction industry was criticised many times by the researchers as , it is not as productive as manufacturing industry (Egan, John, 1998). New technologies are helpful tools to increase productivity of construction. Drones are used in construction site with various purposes such as; collecting data and monitoring the progress (Dobson et al., 2013). Drones can be very useful in helping project management team to follow the project progress daily (Yamomto et al., 2014). It is very equipment that gives access to the whole site. They are not providing only images but also volumetric reports as well (Anwar, Naveed Asian Institute of Technology, Izhar, Muhammad Amir, Kabot Systems Ltd, Najam, Fawad, 2018; Bognot, Candido, Blanco, Rene, & Montelibano, 2012).

Table 2: Literature review of UAV's in construction

Purpose	Reference
Progress monitoring	(Han et al. 2015) (Lin, Han & GolparvarFard 2015))(Zollmann et al. 2014) (Kluckner et al. 2011)
Site monitoring	(Wen et al. 2014) (Yang et al., 2015)
Building Inspection	(Wefelscheid et al. (Michael et al. 2014))
Building measurement	(Xie et al. 2012)
Surveying	(Siebert & Teizer 2014) (Fiorillo et al. 2012)
Safety inspection	(Gheisari et al. 2014; Irizarry et al. 2012)

Ethical, Privacy and Safety Issues

As commonly accepted, there are clear beneficiaries for using UAVs in civil projects. However, some journalists, society organizations and academics utter their concerns about their deployments. The utilization of UAV's in terms of ethics and privacy may cause a threat to civil liberties, although safety requirements take first place for regulations (Finn andWright, 2012).

In Europe, the utilization of UAVs is regulated by the Charter of Fundamental Rights. According to the articles of this charter, a person has a right to respect for their private life, communications, home, and an individual has the right of protecting his or her own personal data. In the UK, if the recorded data is not interfered with the person's private life, it is lawful according to the Charter of Fundamental Rights (Williams,2008).

In the USA, American law preserves human rights. The Fourth Amendment of the US Constitution protects American citizen from antithetical searches in where a person has a reasonable expectation of personal life. There is a lot of debate about the law of the usage of UAVs. Both emphasizes that if ever UAVs are in public use, the protection can be nullified (Finn andWright, 2012).

Apart from the safety concerns, there has been live debate on the ethical use of UAVs in war operations. The operators have been blamed for killing soldiers from human consequences of the actions. The potential use as a weapon brings about the more safety and ethical concerns concerning the right to life.

Some academics debate that drones' usage raises the public concerns, since everyone gets tracked, photographed and targeted. This situation is counted as disrespectful action to one's private life. There are many news articles about upset property owners whose privacy were invaded by drone operators. Invasion of privacy has been a long issue tied in capturing geographic information via satellite, airplanes of UAVs and it turns into a special subject when the image is taken from a private property.

Allowing commercial use of UAVs is full of ethical issues. In addition to above mentioned privacy issues, commercial use of drones may take away lots of jobs and create un-employment or decrease wages.

Safety inspection is count as a vital element of safety management systems for early detection and correction of the risks. Number of accidents can be lowered by strict implementation of safety regulations in a construction site. In other words, accidents and occupational illnesses rate increased without any safety related precautions. Some academics performed initial evaluation of UAVs potential for assisting safety management works on the construction sites. In the first study, A Heuristic Evaluation (HE) was used as the first step for the evaluation due to its basic user interface and availability. This basic methodology was developed by Dix et al. in 2004 . Further and more detailed case study related to the use of UAVs for safety inspection. However, valuable data related to the on-site safety conditions were obtained during this study. Effective flights for safety inspection can be easily obtained if the required permissions are granted by the local authorities. The research outcomes were summarized for contributing the decision-making phases and enhance the effectiveness of the safety inspections in Table 3 (Dix, Finlay,Abowd and Beale,2004).

Table 3. UAV applicability for Safety Inspections (Dix, Finlay,Abowd and Beale,2004)

Aspects	Advantages	Barriers
UAV procedure and planning	Identification of safety point of interest	Weather conditions
Data gathering and processing	Less time spent during inspection as multiple activities can be monitored simultaneously. Simplified inspection stages due to less time spent in manual data gathering. Easiness of using technology ; Data standardization, reducing variability	Laws requirements; UAS Training for pilot/observer
Data analysis and processing	Enhance of the transparency of the unsafe conditions; Detailed information about unsafe and safe conditions; Use of indicators and information for decision making; Use of the visual assets and the results from inspection for safety education	Need to improve real time feedback for workers; Real time information is required for safety personnel'.
Staff and system	UAS Cost-benefit feasibility; Possible development of employers' safety attitudes.	Resistance to the adoption of new technologies; Poorly structured safety management system on jobsite

Results of abovementioned study suggested that, there was a great potential of using UAVs as a safety monitoring vehicle on a construction projects.

Global UAV Regulations and Turkish Law

With the raising of new technologies in the UAV industry, it becomes very important to evaluate all existing and new regulations around the world. Lately, new regulations have been introduced to the drone operation market for making easier commercial and personal applications of UAVs.

The Federal Aviation Agency distinguishes UAV usage intent as recreational and commercial. Recreational usage is limited since the probability of any involvement unrelated to the one's occupation. If a drone used is for recreational purposes, FAA approval is not required, but the drone must be in the limit of visual line of sight, comply with the required safety guidelines and 5 miles away from the airports. In addition, the UAV must be less than 55 pounds. UAV usage intent can be accepted as a commercial one, if there exists a relationship between the operator occupation and the use of drone. These new rules still ban the UAV from being operated over people and a moving vehicle. This ability carries a significant importance, especially for construction industry for wide ranges of objectives such as monitoring productivity and safety when the site is occupied.

In European Union, the International Civil Aviation Organization (ICAO) regulates the all civil aviation European Aviation Safety Agency (EASA) develops UAV regulations under the command of ICAO. Drones weighing more than 150 kg directly regulated by ICAO; however, UAVs within the weight limit of 150 kg were regulated by each nation. European Union is currently working on balancing the usage of UAVs in many applications while having these five objectives (Heredia et al.,2009):

- Support the development of UAV market.
- Ensure security.
- Maintaining safety of EU aviation.
- Respect the rights of protection of personal data, private and family life.
- Ensure the risk fee depending on the usage of UAVs.

European Union's regulations are more relaxed, and free to decide depending on the country, in comparison. French laws are making it easier and clear for commercial drone operations. The current limitations are as follows (Okrent,2004)

- The UAVs must be in the limit of visual line of sight of the operator.
- All flights must be under the altitude of 500 ft.
- The operator must avoid flying drones over people.
- All operations must take place during the day.

In 2015, South African Civil Aviation Authority released a new set of rules and these regulations state (Ingham, Jones and Maneschijn,2006):

- x All UAVs must be operated under the altitude of 400ft.
- The drone must be maximum 500 meters way from the operators.

Turkish regulations are more rigid compared to the global legislation and rules. In 2016, General Directorate of Civil Aviation released latest rules and some limitations are as follows:

- Before the flight, permissions must be granted by the local authorities.
- The flights must be 9 km away from the airports.
- No flight permitted around the military buildings, national defence industry factories, prison buildings.
- The weight of UAVs up to 500 is accepted as hobby use.
- Search and rescue activities are not limited with the above-mentioned rules; however, a permission from General Directorate of Civil Aviation is required for the operations.
- All types of UAV flights over the private properties are also required from permission from the owner of the properties.
- Pilots of IHA0 and IHA1 types should be educated until the 01.08.2016. After this day, no pilots can flight those types of UAVs for commercial operations.

Regulation clause	United States	European Union	China	Turkey	Recommendation for Turkish Authorities
Distance	Within sight of operator during daytime	Within the sight of operator during daytime	Within the sight of the operator. Must drive during the day time.	N/A	Within the sight of operator (can be waived)
Max Altitude	152 m.	121 mt.	120 m	N/A	150 m
Max speed	161 kmh	161 kmh	100 km/h	N/A	150 km/h

Operator	16 years of age, to pass FAA knowledge test, obtain operator certificate, to pass TSA vetting	N/A		No age limit, pilot under the age of 18 need to provide legal and criminal liability documentation, operator certificate required	Renewal exam of pilot license should be done in every two years.
UAV	Less than 25 kg and registered, banned from flying over people and from operating from a moving vehicle	Less than 25 kg, be Registered, use geo-fencing, operate a safe distance from people and other airspace users	Any drone that weighs over 25 kg must be registered.	prohibited from flying over people and private property w/o owner permission.	Less than 5 kg and registered, use geo-fencing, operate a safe distance from People, moving vehicle and other airspace users
Second Operator	N/A	N/A	N/A	N/A	Second operator should be in duty in case of emergency situations from a UAV activity control center. And this user is allowed to down the UAV under unregistered actions.

Conclusion

This paper shows that the use of drone in the construction industry is not a wide solution for improving conventional methodologies. Besides, its usage is limited by many factors such as laws and regulations that are not established sufficiently to relieve concerns. This study can be used as an initial step for improving UAV usage efficiency in construction industry in Turkey. Law and regulation limitations in Turkish standards should be improved by comparing the other updated conditions in all over the world. This will increase the benefits of having UAV's and ease up the construction professional's decision making process by providing accurate up-to-date information. Furthermore, health and safety inspections that take time and require to be followed every moment. This will consume huge amount of human resources. Hence, having drones flying over the site can be beneficial.

Education system for UAV operators should be more regulated. Especially, pilot candidate education for IHA0 and IHA1 (commercial purposes) should be held again without any exact final date. This will increase efficient of UAV use.

Owing to increased number of UVA users, now these machines are part of daily human life. Therefore, they have impact in the social life (Finn & Wright, 2012). In fact, some researchers are concerned with the possibility of these vehicles might be threat to the public security, which is another point to be investigated (Clarke, 2016) Furthermore, these vehicles might substitute most of the people such as delivery men and consequently have economical impact (Clarke & Bennett Moses, 2014). In the future studies, researches should investigate that point of UVA's.

References

- Anania, E. C., Rice, S., Pierce, M., Winter, S. R., Capps, J., Walters, N. W., & Milner, M. N. (2019). Public support for police drone missions depends on political affiliation and neighborhood demographics. *Technology in Society*, 57(December 2018), 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.12.007>
- Anwar, Naveed Asian Institute of Technology, Izhar, Muhammad Amir, Kabot Systems Ltd, Najam, Fawad, N. U. of S. and T. (2018). Construction Monitoring and Reporting using Drones and Unmanned Aerial Construction Monitoring and Reporting using Drones and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs).
- Aydin, B. (2019). Public acceptance of drones: Knowledge, attitudes, and practice. *Technology in Society*, 101180. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.101180>
- Barmounakis, E. N., Vlahogianni, E. I., Goliias, J. C. Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 2016, 5.3: 111-122.
- Bognot, J. R., Candido, C. G., Blanco, A. C., Rene, J., & Montelibano, Y. (2020). Building Construction Progress Monitoring Using Unmanned Aerial System (UAS), Low-Cost Photogrammetry, and Geographic Information System (GIS), *IV*(June 2018), 4–7.
- Caldas, Carlos H.; Soibelman, Lucio; Gasser, Les. Methodology for the integration of project documents in model-based information systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2005, 19.1: 25-33.
- Changali, S., Mohammad, A., & Nieuwland, M. van. (2015). The construction productivity imperative.

- Chen, Jessie YC. UAV-guided navigation for ground robot tele-operation in a military reconnaissance environment. *Ergonomics*, 2010, 53.8: 940-950.
- Cheung, C., Grocholsky, B.. UAV-UGV Collaboration with a PackBot UGV and Raven SUAV for Pursuit and Tracking of a Dynamic Target. In: SPIE Defense and Security Symposium. International Society for Optics and Photonics, 2008. p. 696216-696216.
- Choi, Sungsook; KIM, Eungkon. Image acquisition system for construction inspection based on small unmanned aerial vehicle. In: *Advanced Multimedia and Ubiquitous Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015. p. 273-280.
- Clarke, R. (2016). Appropriate regulatory responses to the drone epidemic. *Computer Law and Security Review*, 32(1), 152–155. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2015.12.010>
- Clarke, R., & Bennett Moses, L. (2014). The regulation of civilian drones' impacts on public safety. *Computer Law and Security Review*, 30(3), 263–285. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2014.03.007>
- De Melo, R.R. S, et al. Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. *Safety science*, 2017, 98: 174-185.
- Diaz-Vilarino, L., et al. Determining the limits of unmanned aerial photogrammetry for the evaluation of road runoff. *Measurement*, 2016, 85: 132-141.
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, G., and Beale, R. (2004). "Human-computer interaction", (3rd ed.), Prentice-Hall, Inc., 2004.
- Heredia, Guillermo, et al. Multi-unmanned aerial vehicle (UAV) cooperative fault detection employing differential global positioning (DGPS), inertial and vision sensors. *Sensors*, 2009, 9.9: 7566-7579.
- Dobson, R.J., Brooks, C, Roussi, C, and Colling, T. "Developing an unpaved road assessment system for practical deployment with high-resolution optical data collection using a helicopter UAV." Proc., Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on, Piscataway, NJ. 235-243
- Dupont, Quentin FM, et al. Potential Applications of UAV along the Construction's Value Chain. *Procedia Engineering*, 2017, 182: 165-173.
- Egan, John, C. T. F. (1998). *Rethinking Construction*.
- Farber, H. B. Eyes in the sky: constitutional and regulatory approaches to domestic drone deployment. 2014.
- Finn, R. L., & Wright, D. (2012). Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. *Computer Law and Security Review*, 28(2), 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2012.01.005>
- Fiorillo, F, Jiménez, B., Remondino, F, & Barba, S. (2012). 3D surveying and modeling of the archaeological area of Paestum, Italy. *Virtual Archaeol Rev*, 4, 55–60.
- Floreano D, Wood RJ. Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature* 2015; 521:460–466.
- Gheisari, M, Irizarry, J, and Walker, B. "UAS4SAFETY: The Potential of Unmanned Aerial Systems for Construction Safety Applications." Proc., Construction Research Congress 2014, Reston, VA. 1801-1810.
- Goedert, J. D.; Meadati, P.. Integrating construction process documentation into building information modeling. *Journal of construction engineering and management*, 2008, 134.7: 509-516.
- Han, K, Lin, J, and Golparvar-Fard, M. "A Formalism for Utilization of Autonomous Vision-Based Systems and Integrated Project Models for Construction Progress Monitoring." Proc., 2015 Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure
- Irizarry, J, Gheisari, M, & Walker, B. (2012). Usability Assessment of Drone Technology as Safety Inspection Tools. *Journal of Information Technology in Construction*, 17, 194–212.
- Ingham, L. A., Jones, T., and Maneschijn, A.. Considerations for UAV design and operation in South African airspace. *The aeronautical journal*, 2006, 110.1112: 695-701.
- Kavoosi, Z., Raoufat, M. H., Dehghani, M., Abdolabbas, J., Kazemeini, S. A., & Nazemossadat, M. J. (2018). Feasibility of satellite and drone images for monitoring soil residue cover. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.06.001>
- Gluckner, S, Birchbauer, J-A, Windisch, C, Hoppe, C, Irschara, A, Wendel, A, Zollmann, S, Reitmayr, G, and Bischof, H. "AVSS 2011 demo session: Construction site monitoring from highly-overlapping MAV images." Proc., Advanced Video and Signal-Based Surveillance (AVSS), 2011 8th IEEE International Conference on, Piscataway, NJ. 531-532
- Koon M. Construction of Sacramento Kings arena using award-winning drone monitoring system developed at Illinois; 2016.
- Lavoie, M. Caterpillar Inc. and Redbird to Advance Work Site Intelligence with Drone Analytics. Caterpillar; 2015.
- Lin, J, Han, K, & Golparvar-Fard, M. (2015). 2015. Proc, Computing in Civil Engineering, 2015, Reston, VA. 156–164.
- Nex, Francesco; Remondino, Fabio. UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 2014, 6.1: 1-15.
- Michael, N, Shen, S, Mohta, K, Kumar, V, Nagatani, K, Okada, Y, Kiribayashi, S, Otake, K, Yoshida, K, Ohno, K, Takeuchi, E, and Tadokoro, S. (2014). "Collaborative Mapping of an Earthquake Damaged Building via Ground and Aerial Robots." Field and Service Robotics, K. Yoshida, and S. Tadokoro, eds., Toronto, Canada: Springer Berlin Heidelberg, 33-47.
- Morgenthal, G., Hallerman, N. Quality assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based visual inspection of structures. *Advances in Structural Engineering*, 2014, 17.3: 289-302.
- Okrent, Mark. Civil UAV activity within the framework of European Commission research. In: Proc. of AIAA 3 rd Unmanned Unlimited Technical Conference. 2004. p. 1-12.
- Rao, B., Gopi, A. G., & Maione, R. (2016). The societal impact of commercial drones. *Technology in Society*, 45, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.02.009>

- Siebert, S, & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, 1–14.
- Skycatch Inc.'s, <https://www.skycatch.com/> (retrieved 20.06.2017).
- Xie, F, Lin, Z, Gui, D, & Lin, H. (2012). Study on construction of 3D building based on UAV images. *ISPRS – Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inform Sci*, XXXIX-B1, 469–473
- Wakefield, J. *Tomorrow's Buildings: Construction industry goes robotic*. BBC Technology; 2016.
- Wang, G., et al. *Risk considerations in the use of unmanned aerial vehicles in the construction industry*. 2016.
- Wefelscheid, C, Hansch, R, & Hellwich, O. (2011). Three-dimensional building reconstruction using images obtained by unmanned aerial vehicles. *ISPRS – Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inform Sci*, XXXVIII-1/C22, 183–188.
- Wen, M-C, and Kang, S-C. “Augmented Reality and Unmanned Aerial Vehicle Assist in Construction Management.” *Proc., Computing in Civil and Building Engineering (2014)*, Reston, VA. 1570-1577.
- Williams, V.. *Privacy impact & the social aspects of public surveillance*. *Covert Policing Review 2008* .
- Yamamoto, T, Kusumoto, H, and Banjo, K. “Data Collection System for a Rapid Recovery Work: Using Digital Photogrammetry and a Small Unmanned Aerial Vehicle (UAV).” *Proc., Computing in Civil and Building Engineering (2014)*, Reston, VA. 875-882
- Yang, J, Park, M-W, Vela, P A, & Golparvar-Fard, M (2015). Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 211–224
- Zhang, J, and Singh, S. “LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time.” *Proc., Robotics: Science and Systems Conference (RSS 2014)*.
- Zollmann, S, Hoppe, C, Kluckner, S, Poglitsch, C, Bischof, H, & Reitmayr, G. (2014). *Augmented Reality for Construction Site Monitoring and Documentation*. *Proceedings Of the IEEE*, 102(2), 137–154.



Üvez Meyvesinin Antioksidan Aktivitesi

Yüksel Bayram^{1*}, Yasemin Torlak², Osman Sağdıç³

¹ Pamukkale Üniversitesi Çal Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü, (ORCID: 0000-0002-1130-577X)

² Pamukkale Üniversitesi Çal Meslek Yüksekokulu Organik Tarım Bölümü, (ORCID: 0000-0001-5964-2532)

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, (ORCID: 0000-0002-2063-1462)

(İlk Geliş Tarihi 10 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 18 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.589736)

ATIF/REFERENCE: Bayram, Y., Torlak, Y. & Sağdıç, O. (2019). Üvez Meyvesinin Antioksidan Aktivitesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 933-939.

Öz

Yüzyıllardan beri, bütün ülkelerde tıbbi açıdan önemli olan çeşitli meyveler, hastalıkların tedavisi amacıyla kullanılmaktadır. Bu meyveler arasında üvez (*Sorbus aucuparia*) meyvesinin son zamanlarda antioksidan aktivitesi dikkat çekmektedir. Türkiye'de doğal olarak yetişen Kuş üvezi meyvesinin insan sağlığı açısından önemli biyoaktif bileşenler içerdiği yapılan çeşitli araştırmalarla belirlenmiştir. Yaygın olarak reçel yapımında değerlendirilen bu meyvenin sağlık ve gıda sektörlerinde kullanım potansiyelinin araştırılması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, farklı çözücüler kullanılarak ultrason destekli ekstraksiyonla elde edilen üvez meyvesi ekstraktlarının, toplam fenolik ve flavonoid miktarları ile antioksidan aktiviteleri belirlenmiştir. Çalışmada Denizli 'nin Çal İlçesi'den toplanan üvez meyveleri kurutulduktan sonra öğütülmüş ve ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi ile üç farklı çözücü içerisinde ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işlemi için etanol:su (1:1), metanol:su (1:1), aseton:su (1:1) çözeltileri kullanılmış ve her solvent için ayrı ayrı ultrasonik su banyosunda 50±5°C sıcaklıkta 40 dakika süreyle ekstraksiyon işlemleri gerçekleştirilmiş ve biyoaktif değerleri incelenmiştir. Çalışmada, ekstrakt verimi, toplam fenolik ve flavonoid madde ile DPPH yöntemiyle antioksidan aktivite değerlerinin en iyi çıktığı çalışma koşulları, herbir ekstrakt elde etme yöntemine göre açıklanmış ve en iyi sonucun etanol:su karışımına (1:1) ait olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Üvez, *Sorbus aucuparia*, fenolik madde, antioksidan kapasite

Antioxidant Activity of Uvez Fruit

Abstract

For centuries, a variety of medicinally important fruits have been used in all countries to treat diseases in public health. Among these fruits, the antioxidant activity of rowan fruit has recently attracted attention. Rowan fruit (*Sorbus aucuparia*) of naturally grown plants in Turkey are determined by studies that contain important bioactive components in terms of human health. It is important to investigate the potential use of this fruit which is widely used in jam making in health and food sectors. The aim of this study was to investigate the total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activities of rowan fruit extracts obtained under different extraction conditions.

In this study, rowan fruits collected from Çal region (Denizli, Turkey) were grinded after drying and extracts were obtained in three different solvents by ultrasound assisted extraction method. Ethanol:water (1:1), methanol:water (1:1), acetone:water (1:1) solutions were used for extraction and extraction was carried out for 40 minutes in an ultrasonic water bath at 50 ± 5°C for each solvent separately and bioactive values were examined. In this study, extract yield, total phenolic, flavonoid substance and DPPH method with antioxidant activity values were found to be the best working conditions were explained according to extraction method and the best result was found to be ethanol: water mixture (1:1).

Keywords: Rowanberry, *Sorbus aucuparia* L., phenolic substance, antioxidant capacity

* Sorumlu Yazar: Pamukkale Üniversitesi Çal Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü, Denizli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1130-577X), ybayram@pau.edu.tr

1. Giriş

Bitkilerde bulunan fenolik bileşikler, insan beslenmesinin önemli bir parçasıdır ve antioksidan özelliklerinden dolayı büyük ilgi çekmektedir. Meyve ve sebzeler insan diyetindeki en önemli fenolik bileşik kaynaklarıdır. Bu bileşikler, anti-alerjenik, anti-aterojenik, anti-enflamatuvar, anti-mikrobiyal, antioksidan, anti-trombotik, kardiyο-koruyucu ve vazodilatuar etkiler gibi çok çeşitli fizyolojik özellikler sergilemektedir. Fenolik bileşiklerden elde edilen faydalı etkiler, antioksidan aktivitelerine dayandırılmaktadır (Balasundram ve ark., 2006).

Rosaceae familyasına ait yabani bir meyve olan üvez (*Sorbus aucuparia*), Türkiye'nin farklı bölgelerinde yabani olarak yetişmektedir. Mayıs-Haziran aylarında beyaz, pembe renkli çiçekler açan bitkinin, meyveleri Ağustos ve Eylül aylarında hasat edilmektedir. Üvez cinsinin, ülkemizde 12 türü ve 17 taksonu bulunmaktadır. *Sorbus aucuparia* L. (kuş üvezi), *Sorbus domestica* L. (has üvez), *Sorbus umbellata* (ak üvez) ve *Sorbus torminalis* L. (akçaağaç yapraklı üvez) en önemli üvez türleridir (Korkut ve ark., 2010). *S. aucuparia* (kuş üvezi), 15-20 m. boylanabilen, özel bir toprak ve iklim isteği olmayan bir orman ağacıdır. Bu ağaç, kurak ibrelili ormanlarda yetişebildiği gibi, nemli ılıman yapraklı ormanlarda da yaygın olarak görülen, gölgeye dayanıklı, meyveleri kırmızı olan bir türdür (Korkut ve ark., 2010). *Sorbus* türleri gibi yenilebilir meyveleri olan bazı süs bitkileri, çevresel (kuşlar için yiyecek, şehir parklarında dekorasyon), sağlığa yararlı (biyolojik olarak aktif bileşikler içermesi) ve aynı zamanda beslenmede de önemli işlevlere sahip olabilir.

Yapılan araştırmalara göre, üvez meyvesi, fenolik bileşik kompleksleri nedeniyle, antioksidan, immünotropik, anti-enflamatuvar ve kılcal güçlendirici etkiler göstermektedir (Isaikinave ark., 2018). Bu meyveler, geleneksel tıpta, kronik ishal, karaciğer ve safra kesesinin çeşitli hastalıklarının tedavisi için, ayrıca Yunanistan'da antidiyabetik ajan olarak kullanılmaktadır. Besleyici ve tıbbi özellikleri nedeniyle, *S. aucuparia* geleneksel olarak reçel ve jöle hazırlanmasında da değerlendirilmektedir (Şavikin ve ark., 2017). *Fructus Sorbi aucupariae*, resmen tanınmış bir farmasötik hammadDEDİR ve bir polivitamin ilacı olarak vitamin karışımının bileşeni olarak yer almaktadır. Üvez meyveleri C, B₂, E vitamin kompleksleri ile karotenoidler içermektedir. Ayrıca fenolik bileşikler (antosiyaniinler, fenolik asitler, flavonoidler), polisakkaritler (pektin maddeler ve serbest şekerler), siyanojenik bileşikler, organik asitler, iz ve majör mineral elementleri içerir (Isaikina ve ark., 2018). Üvez meyvesinin çeşitlerinde kampferol, kuersetin, mirisetin ve bunların glikozitleri gibi flavonoidler, kafeik, p-kumarik ve ferulik asit gibi hidroksinamik asitler ile p-hidroksibenzoik ve gallik asit gibi hidroksibenzoik asitler bulunmaktadır. Meyvede bulunan başlıca bileşenler ferulik asit, kuersetin ve mirisetindir (Razina ve ark., 2006).

Bu çalışma ile ülkemizde doğal olarak yetişen (Denizli yöresine ait) ve son yıllarda üzerinde birçok çalışma yapılarak dünya üzerinde ticari önemi artacağına inanılan üvez meyvesinin farklı çözücülerde ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi ile ekstrakte edilmesi, toplam fenolik ve flavonoid madde miktarları ile antioksidan kapasitesinin tespit edilerek, tüm ekstraksiyon denemeleri için en uygun çözücünün belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Araştırma materyalini Çal yöresinden (Denizli, Türkiye) ekim ayında toplanan üvez bitkisinin meyveleri oluşturmuştur. Bu meyveler kurutulmuş, öğütülmüş ve çözgen ekstraksiyonuna tabi tutulmuştur. Analizlerde, hassas terazi (Sartorius TE2145), spektrofotometre (Shimadzu UV-1800, Japonya), ultrasonik su banyosu (WiseClean, DH.WUC.D10H, Almanya), öğütücü (Siemens, Almanya), santrifüj (Universal 32R) ve etüv (Memmert) kullanılmıştır. Kimyasallar maddeler olan Folin-Ciocalteu reaktifi, 2,2-difenil-1-pikril hidrazil (DPPH), gallik asit, kateşin, BHT (Bütillenmiş Hidroksi Toluen) etanol, metanol, aseton, sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum nitrit (NaNO₂), Alüminyum klorür, hidrojenklorür Sigma-Aldrich (Almanya) ve Merck (Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

2.1.1. Örneklerin Hazırlanması

Laboratuvara getirilen taze üvez meyveleri 45°C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur. Numuneler kurutulduktan sonra, öğütülerek analiz edilinceye kadar hava almayacak şekilde ambalajlanarak, 4 °C'de karanlık ortamda muhafaza edilmiştir.

2.1.2. Ekstraktların Hazırlanması

Öğütülmüş kuru üvez meyvesinin biyoaktif bileşenleri 100 KHz sabit frekansta ultrasonik su banyosunda (WiseClean, DH.WUC.D10H, Almanya) ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işleminde, çözücü olarak etanol:su (1:1), metanol:su (1:1) ve aseton:su (1:1) kullanılmıştır. 1:10 (örnek:çözücü) oranında hazırlanan çözeltiler ultrasonik su banyosunda 50±5°C sıcaklıkta 40 dk işleme tabi tutulmuştur. 3 farklı çözücü ile hazırlanan örnekler kaba filtreden geçirildikten sonra 4100 rpm'de (rpm) 10 dakika (Hettich 320R, Almanya) santrifüjlenmiştir. Ekstraktlar analiz edilinceye kadar amber renkli cam şişede -18 °C'de depolanmış ve antioksidan aktiviteleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Stalikas ve ark., 2007; Dai ve ark., 2010).

2.2. Ekstrakt Verimlerinin Tayini

Denemeler esnasında hazırlanan ekstraktlar petri kaplarına aktarılarak, 45°C’de kurumaya bırakılmış ve belirlenen kurutulmuş ekstrakt miktarı ile başlangıçtaki meyvenin kuru maddesine göre ekstrakt verimi hesaplanmıştır. Ekstrakt verim hesabı Eşitlik 2.1’e göre yapılmıştır.

$$\% \text{ Verim} = \frac{\text{Elde edilen kuru ekstrakt miktarı}}{\text{Meyve kurumadde miktarı}} * 100$$

Eşitlik 2.1

2.3. Toplam Fenolik Madde Tayini

Toplam fenolik madde miktarı Singleton ve Rossi (1965) tarafından geliştirilen ve Li ve ark. (2006) tarafından modifiye edilen metod esas alınarak gerçekleştirilmiştir. FCR (Folin Fenol Reaktifi veya Folin-Denis reaktifi), fosfomolibdat ve fosfotungstat karışımı bir reaktif olup, fenolik, polifenolik antioksidanların kolorimetrik olarak tayininde kullanılır.

Ekstrakte edilen numuneler damıtılmış su ile 1:10 oranında seyreltilmiş ve 0.5 mL seyreltilmiş ekstraktlara 2,5 mL Folin-Ciocalteu reaktifi (0,2 N) eklenmiştir. Daha sonra, reaksiyon tüpüne 2 mL% 7,5 Na₂CO₃ ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımlar oda sıcaklığında 30 dakika karanlık ortamda bekletildikten sonra, numunelerin absorbansı spektrofotometre (Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre, Japonya) (Singleton ve Rossi, 1965) kullanılarak 760 nm’de ölçülmüştür. Sonuçlar gallik asit eşdeğeri (GAE), mg GAE/L olarak verilmiştir. Her bir örnek üç kez analiz edilmiş olup, sonuçlar üç tekrarlı ölçümlerin ortalaması olarak gösterilmiştir.

2.4. Toplam Flavonoid Tayini

Numunelerin toplam flavonoid içeriği, Zhishen ve ark. (1999) tarafından açıklanan yöntemle göre belirlenmiştir. 1 mL numune ekstraktları 4 mL distile su ile karıştırılarak üzerine 0,3 mL NaNO₂ (distile suda %5) eklenmiş ve 5 dakika sonra 0,3 mL AlCl₃ (suda%10) ilave edilmiştir. Karışım 6 dakika inkübe edildikten sonra, 2 mL 1 M NaOH çözeltisi ilave edilmiş ve karışım, damıtılmış su ile 10 mL’ye ayarlanmıştır. Daha sonra, numunelerin absorbansı spektrofotometre kullanılarak 510 nm’de ölçülmüştür. Sonuçlar kateşin eşdeğeri (CAE), mg CAE/L olarak verilmiştir. Her bir örnek üç kez analiz edilmiş olup, sonuçlar üç tekrarlı ölçümlerin ortalaması olarak gösterilmiştir.

2.5. Antioksidan Kapasite Tayini, DPPH Yöntemi (Serbest Radikal Yakalama)

Örneklerin antioksidan kapasiteleri Sanchez-Moreno ve ark. (2002), tarafından geliştirilen yöntemle göre belirlenmiştir. Bu metod antioksidanların kararlı ve sentetik DPPH (2,2-difenil-1-pikril hidrazil) radikalini süpürücü etkilerini ölçmeye dayalı bir yöntemdir. Koyu mor renkli bir radikal olan olan DPPH 517 nm’de maksimum absorbans verir. Ortamda antioksidan bulunduğu, antioksidan tarafından indirgenip rengi açılarak DPPH indirgenmiş molekülüne dönüşür ve absorbansı azalır. Antioksidanların radikal süpürme kabiliyetlerini değerlendiren kolay ve hızlı bir yöntemdir. Yaklaşık 0,1 mL örnek, 4,9 mL DPPH çözeltisi ile karıştırılmış ve karanlıkta 30 dakika oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. Numunelerin absorbansı, inkübasyon süresinin sonunda spektrofotometre (Shimadzu UV-1800 spektrofotometresi, Japonya) ile 517 nm’de ölçülmüştür (Singleton & Rossi, 1965; Sánchez-Moreno, 2002). Standart olarak BHT (Bütillenmiş Hidroksi Toluen) kullanılmıştır. Her bir uygulamaya ait örneğin, DPPH radikalini inhibe oranları (%inhibisyon) Eşitlik 2.2’ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{DPPH İnhibisyonu (\%)} = \left[\frac{Ac-As}{Ac} \times 100 \right]$$

Eşitlik 2.2

Ac; kontrol absorbansı,

As; örneklerin absorbansı

Ac çözeltisinin içinde meyve ekstraktı bulunmadığı için örnekler Ac çözeltisi ile kıyaslanarak yorumlanmaktadır. Antioksidanların serbest radikalleri süpürme etkisinden dolayı örneklerin absorbansı değerlerinin Ac’den düşük çıkması beklenmektedir. Her bir örnek üç kez analiz edilmiş olup, sonuçlar üç tekrarlı ölçümlerin ortalaması olarak gösterilmiştir (Kumaran ve Joel Karunakaran, 2007).

2.6. İstatistiksel Analiz

Araştırma sonuçları SPSS (PASW Statistics 18) istatistik programı ile incelenmiştir. Sonuçlar 3 tekrarlı ölçümlerin ortalaması ± standart sapma olarak gösterilmiştir. Elde edilen bulgular tek yönlü varyans analizi ve Duncan testi ile değerlendirilerek uygulamalar arasındaki farklılıklar 0.05 güven aralığında verilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yöntemler karşılaştırılırken, etanol:su (1:1), metanol:su (1:1) ve aseton:su (1:1) çözücülerıyla elde edilen ekstraktların kurutulmasıyla maksimum kuru madde üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Bu değerlendirmelere göre elde edilen sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Üvezden farklı çözücülerle elde edilen ekstraktlara ait verimlerin karşılaştırılması

Çözücü cinsi	Ekstrakt verimi (mg ekstrakt/g kuru meyve)
Etanol:su (1:1)	332±10 ^c
Metanol:su (1:1)	301±12 ^b
Aseton:su (1:1)	228±09 ^a

* Üç paralel analiz ortalaması ± standart sapma.

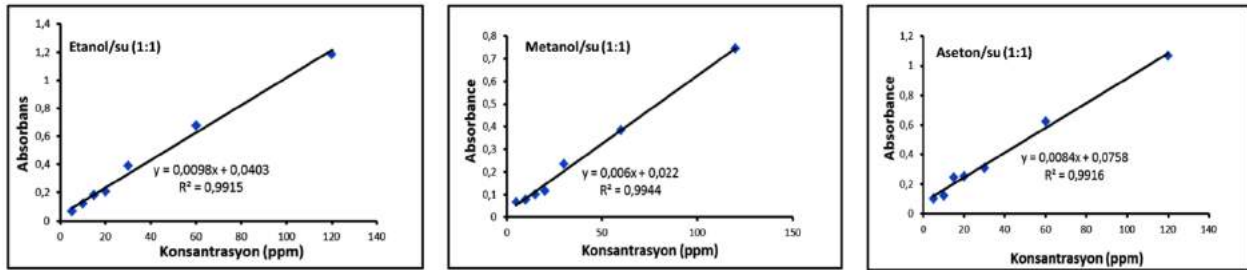
* Aynı sütunda gösterilen farklı harfler one way ANOVA Duncan testine göre farklı çözücülerin verim üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğunu göstermektedir.

Farklı çözücülerle elde edilen ekstraktların verimleri etanol:su (1:1), metanol:su (1:1) ve aseton:su (1:1) çözücüler için sırasıyla 332, 301 ve 228 (mg ekstrakt/g kuru meyve) olarak bulunmuştur. Buna göre, ultrason destekli ekstraksiyon yönteminde çözücü maddelerin verim üzerine etkileri incelendiğinde üç farklı çözücü açısından en yüksek performans, etanol:su (1:1) karışımının çözücü olarak kullanıldığı denemelerde elde edilmiştir. Ekstraksiyon verimi en düşük aseton:su çözücüsünde açığa çıkmıştır. Bu çalışmada farklı çözücülerin ekstrakt verimi üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğu saptanmıştır.

Fenolik madde ekstraksiyonunda değişik çözücülerin kullanıldığı çalışmalarda etanol (Generalic ve ark., 2011), metanol (Perez ve ark., 2011), aseton (Salem ve ark., 2013), dietileter, hegzan (Roby ve ark., 2013) ve su (Martins ve ark., 2015) gibi çözücülerin ekstraksiyon verimi üzerinde değişiklik gösterdiği rapor edilmektedir. Yapılan çalışmalarda ekstraksiyon veriminde çözücü etkisinin çözücünün polaritesine bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir. Roby ve ark. (2013) bazı tıbbi bitkilerin toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitesini inceledikleri çalışmada çözücü olarak metanol, etanol, aseton ve hegzan çözücülerini kullanmışlar ve çözücülerin etkisini metanol > etanol > aseton > hegzan olarak raporlamışlardır.

3.2. Toplam Fenolik ve Flavonoid Madde Bulguları

Bu çalışmada toplam fenolik madde tayini, Folin-Ciocalteu metoduna göre yapılmıştır. Farklı solventlerle (etanol:su (1:1), metanol:su (1:1), aseton:su (1:1)) hazırlanan ekstraktlarının Folin-Ciocalteu'nun fenol reaksiyonuna göre toplam fenolik madde miktarları tespit edilmiştir. Gallik asit standart bileşik olarak kullanılmıştır. Bunun için, gallik asitin 5-120 ppm konsantrasyon aralığındaki 6 farklı konsantrasyonu ile her çözücü için kalibrasyon eğrileri elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı çözücülerdeki gallik asit kalibrasyon eğrileri

Üvezin farklı ekstraktlarında bulunan toplam fenolik madde miktarları Şekil 1'de verilen gallik asitin kalibrasyon eğrilerinden elde edilen denklemlerden gallik asite eşdeğer olarak hesaplanmıştır. Her bir örnek üç kez analiz edilmiş olup, sonuçlar üç tekrarlı ölçümlerin ortalaması olarak gösterilmiştir.

Eğrilerin regresyon eşitliklerine göre hesaplanan örneklerdeki toplam fenolik bileşik miktarları etanol, metanol ve aseton için sırasıyla 19,25, 11,83, 15,84 mg GAE/g olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Araştırma sonuçlarına göre en yüksek toplam fenolik madde miktarı, 19,25 mg GAE/g değeri ile alkol:su (1:1) ekstraktlarının gösterdiği ve sonuçların çözücü farklılığına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde miktarının çözücü farklılığına göre sıralaması etanol:su ekstraktı > aseton:su ekstraktı > metanol:su ekstraktı şeklinde bulunmuştur. Toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite için ekstraksiyon veriminde de olduğu gibi etanol:su (1:1) karışımının kullanıldığı denemeler en iyi sonucu vermiştir. Meyve ekstraktlarının eldesinde farklı çözücülerin kullanıldığı bu çalışmada, toplam fenolik madde değeri üzerinde çözücü etkisinin istatistiksel açıdan önemli ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Üvez meyvesinin ekstrakt verimi, toplam fenolik, flavanoid madde ve antioksidan aktivitenin çözücü cinsine göre değişimi

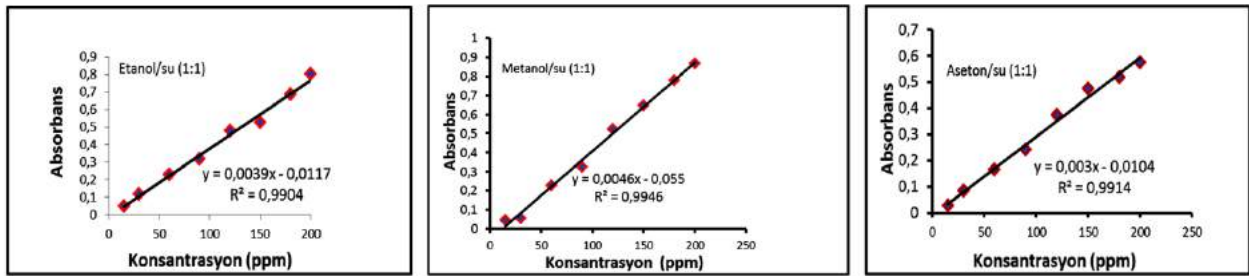
Çözücü cinsi	Toplam Fenolik Madde (mg GAE/g)	Toplam Flavanoid Madde (mg CAE/g)	Antioksidan aktivite DPPH (%inhibisyon)
Etanol:su (1:1)	19,25±0,10 ^a	5,16±0,42 ^c	92,18±10,01 ^a
Metanol:su (1:1)	11,83±0,22 ^b	3,75±0,35 ^d	63,61±09,24 ^b
Aseton:su (1:1)	15,84±0,15 ^c	7,33±0,21 ^c	64,74±12,16 ^b

* Üç paralel analiz ortalaması ± standart sapma.

* Aynı sütunda gösterilen aynı harfler çözücüler arasındaki farkın one way ANOVA Duncan testine göre istatistiksel olarak önemli olmadığını ($p > 0,05$) gösterirken, farklı harfler farkın istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğunu göstermektedir.

Mevcut çalışmaya benzer şekilde, Kahkönen ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada liyofilize edilmiş üvezin toplam fenolik bileşen miktarı 18,7±0,8 mg GEA/g olarak tespit edildiği bildirilmektedir. Savikin ve ark. (2017)'nin yapmış oldukları bir çalışmada da %50 etanollu su ile ekstrakte ettikleri *Sorbus aquparianın* toplam fenolik madde miktarını yapmış olduğumuz çalışmaya benzer şekilde 5,25- 15,91 mg GAE/g km olarak belirlemişlerdir. Tian ve ark. (2018), etanol:su:asetik asit, (70:30:1) çözücü karışımında ekstrakte ettikleri üvezin toplam fenolik madde miktarını 45,6 GAE mg/100 mL olarak bulmuşlardır. Yenilebilir bitkiler içinde en yüksek antioksidan aktiviteyi üzümü meyveler göstermektedir. Üzümü meyvelerin içerdiği fenolik madde miktarları 12,4-50,8 mg/g arasında değişmektedir (Kahkönen ve ark., 1999). Frenk üzümü, ahududu gibi mor renkli üzümü meyveler (28,7-50,8 mg/g), üvez meyvesinden (19,25 mg/g) daha fazla fenolik bileşen içermektedir. Velioglu ve Mazza (1991) olgunlaşmış üvez meyvesinin toplam fenolik madde miktarını, 90,90 mg/100 g olarak belirlemiştir. Bir başka çalışma da ise üvezin toplam fenolik madde miktarı 484,9 mg/100 g olarak tespit edilmiştir (Mikulic-Petkovsek ve ark., 2012).

Farklı çözücülerin kullanıldığı ekstraktların toplam flavonoid miktarları hesaplamasında standart olarak kullanılan kateşinin 5-120 ppm konsantrasyon aralığındaki 6 farklı konsantrasyonu ile her çözücü için kalibrasyon eğrileri elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı çözücülerdeki kateşinin kalibrasyon eğrileri

Üvezin farklı ekstraktlarında bulunan toplam flavonoid madde miktarları Şekil 2'de verilen kateşinin kalibrasyon eğrilerinden elde edilen denklemlerden kateşine eşdeğer olarak hesaplanmıştır. Her bir örnek üç kez analiz edilmiş olup, sonuçlar üç tekrarlı ölçümlerin ortalaması olarak gösterilmiştir.

Üvezin etanol:su (1:1), metanol:su (1:1) ve aseton:su (1:1) çözücülerindeki toplam flavonoid madde miktarları kateşin cinsinden sırasıyla 5,16, 3,75, 7,33 mg CAE/g olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Buna göre en yüksek toplam flavonoid madde miktarı, 7,33 mg CAE/g değeri ile aseton:su (1:1) ekstraktının gösterdiği ve sonuçların çözücü farklılığına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Toplam flavonoid madde miktarlarının çözücü farklılığına göre sıralaması aseton:su ekstraktı > etanol:su ekstraktı > metanol:su ekstraktı şeklinde tespit edilmiştir. Üvez ekstraktlarının eldesinde farklı çözücülerin kullanıldığı bu çalışmada, toplam flavonoid madde üzerinde çözücü etkisi istatistiksel açıdan önemli ($p < 0,05$) bulunmuştur. Şen (2011)'in *Sorbus domestica*'nın su ile hazırladıkları ekstraktların flavonoid miktarlarını belirledikleri bir çalışmada üvezin toplam flavonoid miktarları 112,10- 463,10 µg/mL kateşin ekvivalenti olarak rapor edilmiştir. Gil-Izquierdo ve Mellenthin (2001) tarafından yapılan bir başka çalışmada üvez ekstraktında kuersetin eşdeğeri olarak tespit edilen toplam flavonol miktarı 291 mg/L' dir. Üvez meyvesinde bulunan başlıca fenolik bileşikler ferulik asit, kuersetin ve mirisetindir. Üzümü meyvelerde bulunan fenolik bileşik olan kuersetin üvez meyvesinde 50 mg/kg'dan fazla bulunmaktadır. Üvez meyvesiyle yapılan çalışmalarda 6 kuersetin, 2 kampferol glikozidi olmak üzere 8 flavonol belirlenmiştir (Del Rio ve ark., 2010).

3.3. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi Bulguları

Serbest radikal olan DPPH (2,2-difenil-1-pikril hidrazil) antioksidan maddelerin radikal giderme aktivitelerini belirlemek için en sık kullanılan bileşiklerdendir. Yoğun mor renkli DPPH çözeltisi, antioksidan kapasiteye sahip bileşen ile karıştırıldığında,

antioksidan bileşikten bir hidrojen atomu alarak stabil, radikal olmayan sarı renkli DPPH formuna dönüşmektedir (Brand-Williams ve ark., 1995; Chen ve ark., 2013).

Bitkiler, kimyasal yapı ve biyolojik özellikler bakımından geniş ölçüde farklılık gösteren güçlü doğal antioksidan kaynağı oluşturmaktadır. *S. aucuparia* (kuş üzemi) ve *S. domestica* gibi bazı *Sorbus* türlerinin yenilebilir meyveleri, biyolojik etkinlikleri nedeniyle geleneksel tıpta kullanılan terapötik özellikleri ile bilinmektedir (Savikin ve ark., 2017). Bu çalışmada, antioksidan aktivitesi % inhibisyon olarak yapılan hesaplamalara göre, meyvelerin etanol-su (1:1), metanol-su (1:1) ve aseton-su (1:1), ekstraktları (0,1 mg ml⁻¹) için sırasıyla %92,18, %63,61 ve %64,74 olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Ekstraktlarının eldesinde farklı çözücülerin kullanıldığı bu araştırmada, antioksidan aktivite üzerinde çözücü etkisinin bütün gruplar arasındaki farkın istatistiki olarak önemli (p<0,05) olduğu, metanol:su ve aseton:su arasındaki farkın istatistiki olarak önemli olmadığı (p>0,05) bulgulanmıştır. Tüm ekstraktların yüksek derecede inhibitör aktivite (>% 60) sergilediği tespit edilmiştir. Ekstraktlar arasında en yüksek DPPH inhibisyon aktivitesini, %92,18 değeri ile alkol-su (1:1) ekstraktlarının gösterdiği ve sonuçların çözücü farklılığına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Alkol:su üvez ekstraktının % inhibisyon değerinin standart olarak kullanılan BHT'nin serbest radikal giderim aktivitesiyle (%86,32) karşılaştırıldığında, alkollü üvez ekstraktının 0,1 g/mL konsantrasyonunda BHT'den daha iyi antioksidan etki gösterdiği tespit edilmiştir. DPPH serbest radikali inhibisyon aktivitesinin çözücü farklılığına göre sıralaması etanol:su ekstraktı > aseton:su ekstraktı > metanol:su ekstraktı şeklinde belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, farklı çözücülerin kullanıldığı üvez ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarı artışına bağlı olarak antioksidan kapasiteleri de artış göstermektedir. Mevcut çalışmaya benzer şekilde, Şen (2011)'in aynı konsantrasyonda hazırladığı çözeltiler ile *Sorbus domestica*'nın antioksidan aktivitesini belirlediği çalışma da % DPPH radikali giderim aktivitesini %84,88 olarak bulgulanmıştır. Tian ve ark. (2018) 'nın yapmış oldukları başka bir çalışma da etanol:su:asetik asit, (70:30:1) çözücü karışımında ekstrakte ettikleri üvezin DPPH inhibisyon değerlerini %15,0- 38,7 aralığında rapor etmişlerdir. Lüle ve Koyuncu (2015) üvez (*Sorbus domestica* L.) meyvesi ile çiçeğinin su ve aseton kullanarak hazırladıkları ekstraktlarının antioksidan aktivitelerini belirledikleri çalışmada, DPPH radikali giderme aktivitesi tayininde, ekstraktlar arasında en iyi aktiviteyi üvez meyvesinin sulu ekstraktının gösterdiğini, ferrik tiyosiyanat (FTC) metoduyla toplam antioksidan kapasitesi tayininde ise üvez çiçeğinin aseton (%84,97) ekstraktının en yüksek aktiviteye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

4. Sonuç ve Tartışma

Meyve ve sebzelerde bulunan biyoaktif bileşenler insan sağlığını doğrudan etkilemektedir. Bitkilerden elde edilen polifenolik antioksidan bileşenlerin, serbest radikal olarak adlandırılan kararsız ve zararlı maddelerin etkilerini azalttığı, yapılan bilimsel çalışmalar neticesinde bilinmektedir. Antioksidanlar bu özelliği sayesinde başta kanser olmak üzere, şeker hastalığı, kalp-damar hastalıkları gibi birçok hastalığın olumsuz etkilerini azaltmaktadır. Yapılan araştırmalarla, bitkisel kaynaklardan elde edilecek biyoaktif bileşenlerin günlük tüketimlerinin artırılması ile bazı hastalıkların önlenebileceği görülmektedir.

Bu araştırmada, Çal yöresinde (Denizli) yetişen üvez meyvelerinin, ultrasonik su banyosu ile farklı çözücülerin kullanıldığı ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid madde miktarları ile antioksidan özellikleri (DPPH yöntemi) belirlenmiştir. Deneysel sonuçlarına göre en yüksek toplam fenolik madde miktarı 19,25 mg GAE/g değeri ile alkol:su (1:1) ekstraktlarının gösterdiği ve sonuçların çözücü farklılığına göre istatistiki olarak önemli (p<0,05) olarak değiştiği görülmüştür. Üvez meyvesine ait farklı çözücülerin kullanıldığı ekstraktlar arasında en yüksek toplam flavonoid madde miktarı, 7,33 mg CAE/g değeri ile aseton:su (1:1) ekstraktlarının gösterdiği ve çözücü etkisinin önemli (p<0,05) olduğu saptanmıştır. Bu deneyde antioksidan aktivite için belirlenen DPPH % inhibisyon değerlerine göre en yüksek inhibisyon etkiyi etanolü ekstraktların gösterdiği ve sonuçların çözücü farklılığına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir (p<0,05). *Sorbus aucuparia* meyvesinin ve standart olarak kullanılan BHT'nin % inhibisyon değerleri sırasıyla, %92,18, %86,32 olarak bulgulanmıştır. Antioksidan aktivite değerleri karşılaştırıldığında *Sorbus aucuparia*'nın standart olarak kullanılan sentetik antioksidana göre daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında çalışmada kullanılan üvez meyvesinin etanol ekstraktlarının diğer çözücülere göre daha fazla fenolik madde içerdiği ve daha yüksek DPPH radikali giderme aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kuş üzemi meyvelerinin yüksek oranda biyoaktif bileşenlere sahip olduğu ve bu değerlere bağlı olarak farmasötik ve gıda endüstrisinde potansiyel bir antioksidan kaynağı olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Sağlık üzerinde önemli etkilere sahip, biyoaktif bileşenler bakımından zengin yabani meyvelerin hastalıkları önleme ve tedavisinde kullanımı üzerine daha fazla inceleme yapılması, ayrıca bu meyvelerin gıda bileşimindeki katkıları belirlenerek araştırmaların endüstriyel uygulamalara dönük devamlılık sağlanması önem arz etmektedir.

Kaynakça

- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>.
- Bondet, V., Brand-Williams, W., & Berset, C. (1997). Kinetics and Mechanisms of Antioxidant Activity using the DPPH.Free Radical Method. *LWT - Food Science and Technology*, 30(6), 609–615. <https://doi.org/10.1006/fstl.1997.0240>.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Chen, Z., Bertin, R., & Frolid, G. (2013). EC50 estimation of antioxidant activity in DPPH* assay using several statistical programs. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.001>.
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*. e-ISSN: 2148-2683

- <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>.
- Del Rio, D., Borges, G., & Crozier, A. (2010). Berry flavonoids and phenolics: Bioavailability and evidence of protective effects. *British Journal of Nutrition*. <https://doi.org/10.1017/S0007114510003958>.
- Generalic, I., Skroza, D., Ljubenkovic, I., Katalinic, A., Burcul, F., Katalinic, V. (2011). Influence of the phenophase on the phenolic profile and antioxidant properties of Dalmatian sage. *Food Chemistry*, 127, 427- 433.
- Gil-Izquierdo, A., & Mellenthin, A. (2001). Identification and quantitation of flavonols in rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.) juice. *European Food Research and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s002170100328>.
- Isaikina, N. V., Kalinkina, G. I., Razina, T. G., Zueva, E. P., Rybalkina, O. Y., Ulrich, A. V., ... Shilova, A. B. (2018). *Sorbus aucuparia* L. Fruit Is a Source of the Drug for Increasing the Efficiency of Tumor Chemotherapy. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. <https://doi.org/10.1134/s1068162018070038>.
- Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, H. J., Rauha, J. P., Pihlaja, K., Kujala, T. S., & Heinonen, M. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf990146l>.
- Korkut; M. Budacki. (2010). The effects of high-temperature heat-treatment on physical properties and surface roughness of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) wood. *Wood Research*.
- Korkut, S., Guller, B., Aytin, A., & Kok, M. S. (2009). Turkey's Native Wood Species: Physical and Mechanical Characterization and Surface Roughness of Rowan (*Sorbus aucuparia* L.). *Wood Research*.
- Kumaran, A., & Joel Karunakaran, R. (2007). In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five Phyllanthus species from India. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.011>.
- Lang, Q., & Wai, C. M. (2001). Supercritical fluid extraction in herbal and natural product studies - A practical review. *Talanta*. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(00\)00557-9](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00557-9).
- Lehotay, S. J. (1997). Supercritical fluid extraction of pesticides in foods. *Journal of Chromatography A*. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(97\)00461-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(97)00461-5).
- Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., & Cheng, S. (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.033>.
- Lüle, F., & Koyuncu, T. (2015). Convective and Microwave Drying Characteristics of Sorbus Fruits (*Sorbus domestica* L.). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.467>.
- Martins, N., Barros, L., Buelga, C., Henriques, M., Silva, S. Ve Ferreirara I. (2015). Evaluation of bioactive properties and phenolic compounds in different extracts prepared from *Salvia officinalis* L..*Food Chemistry*, 170: 378-385.
- Mikulic-Petkovsek, M., Schmitzer, V., Slatnar, A., Stampar, F., & Veberic, R. (2012). Composition of Sugars, Organic Acids, and Total Phenolics in 25 Wild or Cultivated Berry Species. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02896.x>
- Pérez-Jiménez, J. Ve Saura-Calixto, F. (2006). Effect of solvent and certain food constituents on different antioxidant capacity assays. *Food Research International*, 39(7):791-800.
- Razina, T. G., Zueva, E. P., Ulrich, A. V., Rybalkina, O. Y., Chaikovskii, A. V., Isaikina, N. V., ... Zyuz'Kov, G. N. (2016). Antitumor effects of *Sorbus aucuparia* L. Extract highly saturated with anthocyanins and their mechanisms. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s10517-016-3554-4>
- Roby, M. H. H., Sarhan, M. A., Selim, K. A., Khalel, K. I. (2013). Evaluation of antioxidant activity, total phenols and phenolic compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.) and marjoram (*Origanum majorana* L.) extracts. *Industrial Crops and Products*, 43, 827-831.
- Salem, I. B., Fekih, S., Sghaier, H., Bousselmi, M., Saidi, M., Landoulsi, A., Fattouch, S. (2013). Effect of ionising radiation on polyphenolic content and antioxidant potential of parathion- treated sage (*Salvia officinalis*) leaves. *Food Chemistry*, 141, 1398-1405.
- Sánchez-Moreno, C. (2002). Methods Used to Evaluate the Free Radical Scavenging Activity in Foods and Biological Systems. *Food Science and Technology International*. <https://doi.org/10.1106/108201302026770>.
- Šavikin, K. P., Zdunić, G. M., Krstić-Milošević, D. B., Šircelj, H. J., Stešević, D. D., & Pljevljakušić, D. S. (2017). *Sorbus aucuparia* and *Sorbus aria* as a Source of Antioxidant Phenolics, Tocopherols, and Pigments. *Chemistry and Biodiversity*. <https://doi.org/10.1002/cbdv.20170032.9>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. <https://doi.org/10.12691/ijebb-2-1-5>.
- Stalikas, C. D. (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of Separation Science*. <https://doi.org/10.1002/jssc.200700261>.
- Tian, Y., Puganen, A., Alakomi, H. L., Uusitupa, A., Saarela, M., & Yang, B. (2018). Antioxidative and antibacterial activities of aqueous ethanol extracts of berries, leaves, and branches of berry plants. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.071>.
- Velioglu, Y. S., & Mazza, G. (1991). Characterization of Flavonoids in Petals of *Rosa damascena* by HPLC and Spectral Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf00003a007>
- Vernon, L. S., Rudolf, O., & Rosa, M. L.-R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2).



Ülkemizde Tüketilen Bazı Gıda Ürünleri ile Bisküvilerin Glisemik İndekslerinin İn Vitro Yöntemlerle Belirlenmesi

Jale Çatak^{1*}

¹ İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Turkey (ODIS: 0000-0002-2718-0967)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 26 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.605008)

ATIF/REFERENCE: Çatak, J. (2019). Ülkemizde Tüketilen Bazı Gıda Ürünleri ile Bisküvilerin Glisemik İndekslerinin İn Vitro Yöntemlerle Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 940-947.

Öz

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli sağlık sorunlarından olan obezite ve diyabetin önlenmesi ve tedavisine yönelik, etkin ve sürdürülebilir çözümler araştırılmaktadır. Diyet kalitesinin esasını teşkil eden glisemik indeks (Gİ) değerleri, diyabet ve sağlıklı beslenme açısından kritik öneme sahiptir. Düşük Gİ değerine sahip gıdaların Tip 2 diyabet riskini düşürdüğü, yapılan klinik çalışmalarla kanıtlanmıştır ve kalp-damar hastalıkları, obezite ve birçok kronik hastalığın tedavisinde glisemik kontrolün önemi vurgulanmıştır. Gİ, farklı gıdaların bireylerde oluşturduğu glisemik etkiye (gıda tüketimi sonrası kan şekerinin artışı) göre gıda maddelerinin sınıflandırılması olarak tanımlanmaktadır. Gİ referans aralıkları; ≤ 55 düşük, 56-69 orta ve ≥ 70 yüksek Gİ olarak kabul edilmektedir. Glisemik indeks (Gİ), gıdaların bir referans gıda ile karşılaştırılarak, postprandiyal kan glukozuna verdikleri cevaba dayalı bir yöntemdir. Bu çalışmada, ülkemizde sıklıkla tüketilen bazı gıda ürünleri ile bisküvilerin Gİ'leri in vitro glisemik indeks metodu ile belirlenmiştir. Çalışmaya, 2 farklı gıda örneklem grubu dahil edilmiştir. Birinci grupta, Gİ üzerine etki ettiği bilinen farklı lif, karbonhidrat ve nişasta kaynaklarından dolayı; kırmızı mercimek, spagetti ve pirinç unundan oluşan 3 ayrı gıda örneği çalışmaya alınmıştır. İkinci grupta ise, Gİ üzerine etki eden farklı lif kaynaklarının etkisini kıyaslayabilmek amacıyla yüksek lif içerdiği bilinen ve ara öğünlerde atıştırılabilir olarak sıklıkla tüketilen; yulafli bisküvi, şekerli form bisküvi ve şekerli form bisküviden oluşan 3 farklı bisküvi örneği ile çalışılmıştır. Analiz edilen kırmızı mercimek, spagetti, pirinç unu, yulafli bisküvi, şekerli form bisküvi ve şekerli form bisküvi örnekleri İstanbul'daki marketlerden satın alınmıştır. Glisemik indekste referans alınan beyaz ekmeklerin glisemik indeksleri 66,2-66,4 iken; gıda örneklerinin glisemik indeksleri 33,3-51,7 aralığında, bisküvi örneklerinin glisemik indeksleri ise 59,1-69,9 aralığında bulunmuştur. Form şekerli bisküvi; light, yulafli ve kepekli olmasına rağmen Gİ değerinin 70'e yakın (orta, yüksek) olduğu görülmüştür. Analizler üç paralel olarak çalışılmıştır ve verilerin istatistiksel analizleri için Tukey (ANOVA) testinden yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Glisemik indeks, Gİ, Bisküvi, Kırmızı mercimek, Spagetti, Pirinç unu, İn vitro

Determination of the Glycemic Indexes of Some Food Products and Biscuits by In Vitro Methods which Consumed in Turkey

Abstract

The effective and sustainable solutions are being investigated for the prevention and treatment of obesity and diabetes which are important health problems in our country as in all over the world. Glycemic index (GI) values, which are the basis of the dietary quality, are critical for diabetes and healthy nutrition. It has been proven in clinical studies that foods with low GI values reduce the risk of Type

* Sorumlu Yazar: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Turkey (ODIS: 0000-0002-2718-0967), jalecatak@gmail.com

2 diabetes and the importance of glycemic control in the treatment of cardiovascular diseases, obesity and many chronic diseases has been demonstrated in many clinical studies. GI is defined as the classification of foodstuffs according to the glycemic effect of different foods in individuals (increase of blood sugar after food consumption). GI reference ranges are considered; as low ≤ 55 , as moderate 56-69 and as high ≥ 70 GI. Glycemic index (GI) is a method based on the response of food to postprandial blood glucose compared to a reference food. In this study, GI' s of some food products and biscuits which are frequently consumed in our country were determined by in vitro glycemic index method. Two different food sample groups were included in the study. In the first group, due to different sources of fiber, carbohydrate and starch known to act on GI; 3 different food samples consisting of red lentils, spaghetti and rice flour were included in the study. In the second group, 3 different biscuit samples consisting of oat-based biscuits, sugar-free form biscuits and sugary-form biscuits which are known that contain high fiber and frequently consumed as snacks, were studied in order to compare the effect of different fiber sources acting on GI. Samples of red lentils, spaghetti, rice flour, oat-based biscuits, sugar-free form biscuits and sugary-form biscuits were purchased from the markets in Istanbul. While the glycemic indexes of white breads which referenced in the glycemic index determination were 66,2-66,4; the glycemic indexes of food samples were in the range of 33,3-51,7, and the glycemic indexes of biscuit samples were in the range of 59,1-69,9. Although the sugar-free form biscuit is light and consisting of oat and bran, the GI value was found to be close to 70 (medium, high). The analyzes were performed in three parallel and Tukey (ANOVA) test was used for statistical analysis of the data.

Keywords: Glycemic index, GI, Biscuit, Red lentil, Spaghetti, Rice flour, In vitro

1. Giriş

Glisemik indeks (Gİ), gıdaların bir referans gıda ile (beyaz ekmek) karşılaştırılarak, postprandiyal kan glukozuna verdikleri cevaba dayanan bir yöntemdir (Foster-Powell ve ark., 2002). 50 g sindirilebilir karbonhidrat içeren test gıdanın tüketilip emilmesini takiben 2 saat içinde oluşturduğu kan glukoz artış alanının, aynı miktarda karbonhidrat içeren referans gıdanın oluşturduğu glukoz artış alanına kıyaslanması ile belirlenmektedir (FAO/WHO, 1998). Buna bağlı olarak karbonhidrattan zengin besinler, düşük Gİ' li besinler ve yüksek Gİ' li besinler olarak gruplandırılmaktadır. Gİ referans aralıkları; ≤ 55 düşük, 56-69 orta ve ≥ 70 yüksek Gİ olarak kabul edilmektedir (Jamurtas ve ark., 2013). Yüksek Gİ' li diyetler; kilo artışı, insülin eksikliği, bozulmuş kan glukozu kontrolü ve artan obezite seviyeleri ile ilişkilendirilmiştir (Brennan, 2005). Son yıllarda ideal diyetler, düşük Gİ li ve düşük karbonhidrat içeren diyetler olarak tanımlanmaktadır. Yapılan araştırmalarda bunun nedeni, düşük Gİ içeren diyetlerin açlık hissi ve enerji alımını düşürdüğü, uzun dönemde ise obezite ve kronik hastalıkları azaltması olarak bildirilmektedir (Bell ve Sears, 2003).

Glisemik indeksin etki mekanizmasının metabolik etkileri glukozun ince bağırsaktan emilme oranı ile ilişkilidir. Bu yüzden, Gİ düzeylerini etkileyen en önemli faktör gıdanın içerdiği karbonhidratların yapısıdır. Basit karbonhidratlar, kompleks karbonhidratlara göre bağırsaktan daha hızlı emildiğinden insülin ve tokluk kan şekeri düzeylerinde büyük ve hızlı artışlar meydana getirmektedir. Düşük Gİ' li besinler ince bağırsaktan daha yavaş emilir, bu nedenle sırasıyla postprandiyal kan glukozunda ve insülin seviyesinde daha yavaş yükselme ile sonuçlanmaktadır (Jenkins ve ark., 2002; Wong ve ark., 2010). Karbonhidratın emilim zamanının uzun olması, serbest yağ asitlerinin baskılanmasını ve aynı zamanda kan glukoz konsantrasyonunun düşük olmasını sağlamaktadır (Wong ve ark., 2010).

Karbonhidratların çoğunluğu monosakkaritleri içeren polisakkaritlerden meydana gelmektedir. Günlük diyetle en fazla tüketilen polisakkarit, nişastadır. Nişasta enzimler aracılığıyla yıkılır, emilimi ince bağırsakta gerçekleşir ve karbonhidrat metabolizmasının ilk basamağını oluşturur. Nişasta, amiloz ile amilopektinden oluşur ve gıdada amiloz oranının yükselmesi gıdanın Gİ değerinin düşmesi anlamına gelir. Bunun nedeni amilozun alfa amilaz ile hidrolizinden daha az glukoz salınmasıdır. Pirinç, patates, mısır, yulaf, çavdar, buğday, fasulye, tahıl ve baklagil içerikli gıdalarda fazla miktarda nişasta bulunur (TÜRKOMP, 2013). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA)' nin 1924/2006 numaralı yönetmeliğine göre; gıdalar, içerdikleri toplam nişastanın en az %14'ü dirençli nişasta olduğunda, daha düşük glisemik yanıt verebilmektedir (EFSA, 2012).

Diyabet (DM), pankreasta beta hücrelerinden salınan insülin hormonunun eksikliği veya fonksiyonunu yitirmesi sonucu karbonhidrat, protein ve yağ metabolizmasında bozukluklara yol açan, kronik bir metabolizma ve endokrin hastalığıdır (Chiu ve ark., 2011). Sağlıklı ve TİP 2 DM' li bireylerde yapılan çalışmalarda, karbonhidratların uzun süre boyunca yavaş yavaş tüketildiğinde emilim hızının azaldığı görülmüştür (Wong ve ark., 2010). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)' ne göre diyabetli birey nüfusunun tüm dünyada 171 milyon civarında olduğu ve bu sayının 2030 yılında 366 milyona ulaşacağı öngörülmektedir (Wild ve ark., 2004). Bir gıdanın glisemik indeksi, özellikle diyabet veya hipoglisemisi olan kişiler için önemlidir; bu kişiler kan glukozunda çok hızlı bir artış ve çok ani bir düşüşe neden olan gıdalardan uzak durmalıdırlar. Düşük glisemik indeks içeren besinlerin kullanıldığı klinik çalışmalarda, diyet glisemik indeksi $\%12 \pm 4$ azaldığı zaman, kan şekeri kontrolünde iyileşme görülmüştür (Peysers ve ark., 2018).

Karbonhidratlı besinlerin seçiminde besin bileşimindeki bilgiyle beraber Gİ değerlerinin kullanılması 1998 yılında Gıda Tarım Örgütü (GTÖ) tarafından uygun bulunmuştur. Yine GTÖ' nün 2007 yılında yenilenen 'İnsan Beslenmesinde Karbonhidratlar' kılavuzunda Gİ, karbonhidrat içeren besinlerin seçiminde en uygun yol gösterici olarak belirlenmiştir. Ancak karbonhidratlı besin seçiminde sadece Gİ değerinin dikkate alınmasının hatalı bazı yanları vardır. Düşük Gİ değerine sahip besinlerin enerji değerleri yüksek olabilir ve yüksek miktarlarda şeker veya yağ içerebilmektedirler (Mann ve ark., 2007).

Yüksek glisemik indeksli gıdalar, beyaz ekmek, patates ve kahvaltılık tahıllar; düşük glisemik indeksli gıdalar ise sebzeler, meyveler, sert kabuklu meyveler, kurubaklagiller ve tam tahıllar olarak bilinmektedir (Das ve ark., 2007). Gıdaların Gİ düzeyi içerdikleri nişasta, monosakkaritin yapısı, lif içeriği, olgunluk düzeyi, fitik asit ve fenolik asit gibi besin ögesi olmayan bileşikler, fiziksel yapıları, protein ve yağ içeriği, pişirme ve işleme teknikleri gibi pek çok faktörden etkilenmektedir (Jenkins ve ark., 2002).

Bisküviler, hem kolay bulunabilir ve ucuz olması hem de pratik bir alternatif olmasından dolayı ara öğün ve atıştırılabilirlik olarak günümüzde sıklıkla tüketilen gıda ürünlerinin başında gelmektedir. Bu sebeplerle günümüz beslenmesinde önemli bir yere sahip olan bisküvilerin çeşitliliği de gittikçe artmaktadır. GI ile ilgili yapılan araştırmalara her geçen gün bir yenisi eklenmekte, diyetin ya da besinlerin GI düzeylerinin sağlıklı ilişkisi tespit edilmeye çalışılmaktadır. Özellikle beden ağırlığı üzerindeki etkilerini netleştirebilmek amacıyla benzer birçok araştırma yapılmaktadır. Form ve light olarak bilinen bisküvilerin, ülkemizdeki tüketim oranlarının yüksekliği dikkate alınarak, sağlıklı beslenmedeki yerinin tespit edilmesi gerekliliğinden dolayı; glisemik indeks ve kan şekeri üzerine olan etkileri konusunda çalışmalara ihtiyaç vardır. Gıdaların GI' i in vivo olarak etik kurul onayını takiben yapılabilmektedir. Bu hem zaman hem de maliyet açısından özellikle ürün geliştirme aşamasında tercih edilmez. Günümüzde hızlı ve in vivo yöntemlerle korelasyonları sağlanmış in vitro GI analiz metodları mevcuttur. İn vitro olarak insan gastrointestinal sistemi simüle edilerek (ağız, mide, ince bağırsak) gıdaların GI' si yaklaşık 4-5 saat gibi kısa sürelerde belirlenebilmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada; GI üzerine etki ettiği bilinen farklı lif, karbonhidrat ve nişasta kaynaklı içeriklerinden dolayı; kırmızı mercimek, spagetti ve pirinç unu ile yüksek lif içerikleriyle bilinen ve ara öğünlerde atıştırılabilirlik olarak sıklıkla tüketilen; yulaflı bisküvi, şekerli form bisküvi ve şekerli form bisküvi örnekleri ile çalışılmıştır. Çalışmanın amacı; ülkemizde tüketilen çeşitli gıda ürünleri ile bisküvilerin GI' lerinin in vitro glisemik indeks metoduyla belirlenerek kıyaslanmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örneklem

Bu çalışmaya; İstanbul'daki marketlerden satın alınan kırmızı mercimek, spagetti ve pirinç unu ile yulaflı bisküvi, şekerli form bisküvi ve şekerli form bisküvi ürünleri dahil edilmiştir. Referans olarak, 2 ayrı ürün grubu için, farklı zamanlarda temin edilen 2 farklı beyaz ekme numunesi kullanılmıştır ve bu numuneler referans ekme 1 ve referans ekme 2 olarak belirtilmiştir. Örnekler analiz için öğütülerek hazır hale getirilmiştir.

2.2. Kimyasallar

Hidroklorik asit (HCl), sodyum hidroksit (NaOH), sodyum asetat (NaAc), guar gum, GOPOD solüsyonu, pepsin (250 IU), pankreatin (136 mg/mL), amiloglikozidaz (13.4 U/mL) intervaz (25.43 U/mL).

2.3. İn Vitro Glisemik İndeks Tayini

Englyst ve arkadaşları (1992)' nin in vitro nişasta sindirilebilirliği metodu bazı değişikliklerle modifiye edilerek standartlaştırıldı. Sindirim için gerekli olan mide ve ince bağırsak solüsyonları, mide ve ince bağırsak enzimlerini içerecek şekilde 2 farklı türde hazırlandı (Englyst ve ark., 1992).

Mide Solüsyonu: >250 IU ünite enzim içeren pepsin enzimi ile 0,5 g guar gum 100 mL' lik manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Üzerine bir miktar 0,1 N HCl ilave edildi ve manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Daha sonra hacim 0,1 N HCl ile tamamlandı.

İnce Bağırsak Solüsyonu: Her bir örnek için 680 mg pankreatin 50 mL' lik falkon tüp içine aktarıldı ve üzerine 4 mL deiyonize su ilave edildi. Vorteks ile karıştırıldıktan sonra 8000 rpm' de 10 dk santrifüj edildi. Süpernatant kısım alınarak üzerine 67 IU amiloglikozidaz enzimi (AMG) ve 127.15 U invertaz ilave edildi ve hacim 5 mL' ye tamamlandı.

Homojen edilmiş 0,5 g sindirilebilir karbonhidrat içeren örnek 250 mL' lik erlen içine tartıldı. Üzerine 5 mL deiyonize su ve hazırlanmış enzim solüsyonu 1' den 10 mL ilave edildi ve 37°C' de çalkalamalı su banyosunda 30 dk inkübe edildi. Daha sonra 5,0 mL 0,5 M sodyum asetat ilave edildi ve pH 5.2' ye ayarlandı. Enzim solüsyonu 2' den 5 mL ilave edildi ve hacim deiyonize su ile 100 mL' ye tamamlandı. Çalkalamalı su banyosunda 37°C' de inkübe edildi. 30, 60, 90, 120, 150 ve 180. dakikalarda numunelerden, 10 mL' lik cam tüp içine 0,5 mL alındı. Enzim denatürasyonu için 100°C' deki su banyosunda 5 dk bekletildi. Örnek deiyonize su ile 15 mL' lik plastik falkon tüp içine alındı ve hacmi 5 mL' ye tamamlandı. 8000 rpm' de 5 dk santrifüj edildi. Örnekten 0,1 mL 10 ml' lik cam tüp içine alındı ve üzerine 3 mL GOPOD enzim çözeltisinden ilave edildi. 50°C' de su banyosunda 20 dk bekletildi ve daha sonra spektrofotometrede 510 nm' de absorbansları ölçüldü.

Hİ' ler 0-180' dk arasında test numunesinin hidroliz eğrisinin altında kalan alanın (AUC) referans numune (beyaz ekme) eğrisinin altında kalan alana oranlanması ile elde edilir. Numunelerin hidroliz indeksi, numuneden oluşan hidroliz eğrisi altındaki alanın (0 ila 180 dakika) beyaz bir ekme alanıyla (referans numune, beyaz ekme) karşılaştırılmasıyla hesaplandı. Daha sonra Goni ve ark. (1996) tarafından tanımlanan denklem kullanılarak numunelerin GI' leri hesaplandı (Goni ve ark., 1996).

$$GI = 39.71 + 0.549.HI.$$

2.4. İstatistiksel Analizler

İstatistiksel analizler, Tukey (ANOVA) testi kullanılarak yapıldı. Tüm önemli farklılıklar, anlamlılık p <0,05 düzeyinde rapor edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

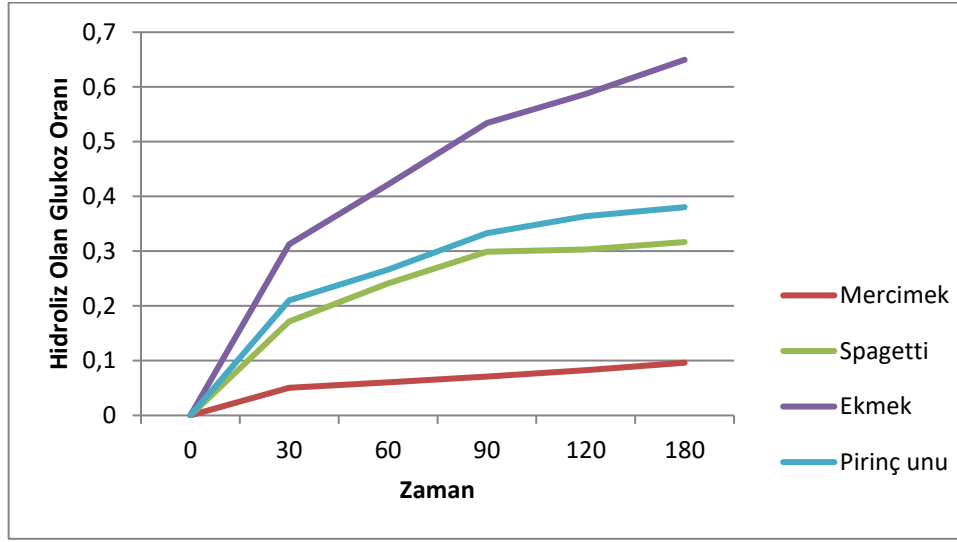
Tablo 1’de kırmızı mercimek, spagetti, pirinç unu ve beyaz ekmeğin 0 ile 180 dakika arasındaki hidroliz oranları verilmiştir. Gıda ürünlerinin glisemik indeks değerlerini hesaplamak için referans olarak beyaz ekmeğin kullanılmıştır. Genellikle referans gıda olarak glukoz kullanılır ve glukozun GI değeri 100 olarak tanımlanır. Örneğin 50 g sindirilebilir karbonhidratı sağlayacak miktarda patates tüketilirse, alınan 50 g glukoz; referans ile kıyaslandığında kan glukozu yanıtının %80’ ine neden olmaktadır. Bu durumda patatesin GI değeri 80 olmaktadır (Monro ve Mishra, 2009; Jamurtas ve ark., 2013).

Kırmızı mercimek, spagetti ve pirinç unu örneklerinin hidroliz oranları 30. dakikada $0,05 \pm 0,001$ ile $0,21 \pm 0,002$ arasında, 120. dakikada $0,08 \pm 0,001$ ile $0,36 \pm 0,004$ arasında, 180. dakikada ise $0,10 \pm 0,001$ ile $0,38 \pm 0,004$ arasında değişmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Bazı gıdaların 0 ve 180 dakika arasında hidroliz oranları

Örnekler	0 dk	30 dk	60 dk	90 dk	120 dk	180 dk
Kırmızı mercimek	0	$0,05 \pm 0,001$	$0,06 \pm 0,001$	$0,07 \pm 0,001$	$0,08 \pm 0,001$	$0,10 \pm 0,001$
Spagetti	0	$0,17 \pm 0,002$	$0,24 \pm 0,003$	$0,30 \pm 0,003$	$0,30 \pm 0,003$	$0,32 \pm 0,004$
Pirinç unu	0	$0,21 \pm 0,002$	$0,27 \pm 0,003$	$0,33 \pm 0,004$	$0,36 \pm 0,004$	$0,38 \pm 0,004$
Referans ekmeği 1	0	$0,31 \pm 0,004$	$0,42 \pm 0,005$	$0,53 \pm 0,006$	$0,59 \pm 0,007$	$0,65 \pm 0,007$

Tablo 1’ deki gıdalar kıyaslandığında en hızlı hidroliz pirinç ununda görülürken (180. dakikada $0,38 \pm 0,004$), en yavaş hidroliz kırmızı mercimek de gerçekleşmiştir (180. dakikada $0,10 \pm 0,001$).



Şekil 1. Bazı gıdaların beyaz ekmeğe göre hidroliz grafikleri

Şekil 1’ de gıda örneklerinin beyaz ekmeğe göre hidroliz grafikleri gösterilmektedir. Karbonhidrat içeren öğünlere diyet lifinin eklenmesi glisemik yanıtı azaltmaktadır. Çözünbilir lif, kıvamlı çözelti oluşturarak gastrik boşalmayı yavaşlatmasıyla ince bağırsak lümeninde difüzyonu azaltıp sonuç olarak sindirim hızını ve bağırsaktan glukoz emilimini azaltmaktadır (Nayak ve ark., 2014).

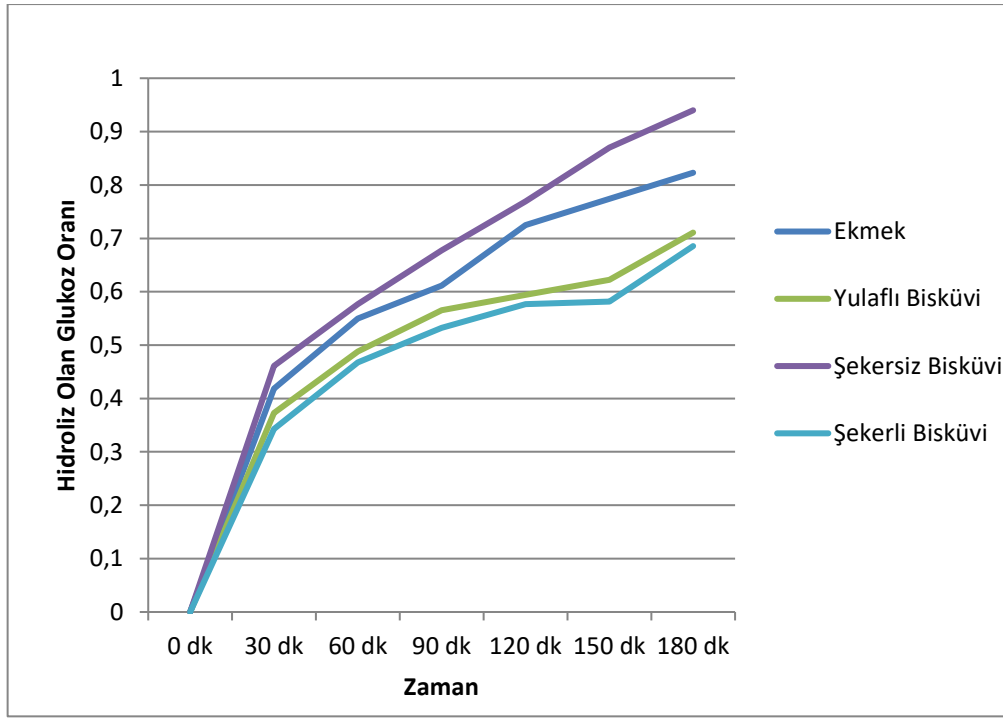
Bisküvi örneklerinin hidroliz oranları 30. dakikada $0,34 \pm 0,015$ ile $0,46 \pm 0,021$ arasında, 120. dakikada $0,58 \pm 0,026$ ile $0,77 \pm 0,035$ arasında, 180. dakikada $0,69 \pm 0,031$ ile $0,94 \pm 0,042$ arasında değişmektedir (Tablo 2). Şekil 2, bisküvilerin beyaz ekmeğe göre hidroliz grafiklerini göstermektedir.

Tablo 2. Bisküvilerin 0 ve 180 dakika arasında hidroliz oranları

Örnekler	0 dk	30 dk	60 dk	90 dk	120 dk	150 dk	180 dk
Yulafli bisküvi	0	$0,37 \pm 0,017$	$0,49 \pm 0,022$	$0,57 \pm 0,025$	$0,59 \pm 0,027$	$0,62 \pm 0,028$	$0,71 \pm 0,032$
Form şekerli bisküvi	0	$0,46 \pm 0,021$	$0,58 \pm 0,026$	$0,68 \pm 0,031$	$0,77 \pm 0,035$	$0,87 \pm 0,039$	$0,94 \pm 0,042$
Form şekerli bisküvi	0	$0,34 \pm 0,015$	$0,47 \pm 0,021$	$0,53 \pm 0,024$	$0,58 \pm 0,026$	$0,58 \pm 0,026$	$0,69 \pm 0,031$
Referans ekmeği 2	0	$0,42 \pm 0,019$	$0,55 \pm 0,025$	$0,61 \pm 0,028$	$0,73 \pm 0,033$	$0,77 \pm 0,035$	$0,82 \pm 0,037$

Tablo 2’ ye göre, bisküvi örneklerinde en yüksek hidroliz form şekerli bisküvide görülürken (180. dakikada $0,94 \pm 0,042$), en düşük hidroliz oranı 180. dakikada $0,69 \pm 0,031$ ile form şekerli bisküvide bulunmuştur. Şekerli form bisküvinin hidroliz oranları, beklenilenin tam tersine şekerli form bisküviden anlamlı bir farklılıkla düşük bulunmuştur. Şeker içeren form bisküvinin hidroliz oranlarının şekerli form bisküviye göre yüksek olması beklenirken, anlamlı farklılıkla düşük çıkmasının sebebi yüksek lif içermesinden

kaynaklanabilmektedir. Şeker içeren form bisküvinin içeriğindeki; yulaf, çavdar, beta-glukan gibi bileşenler glukozun hızlı sindirimine engel olmaktadır. Bilindiği gibi, yüksek lif içeren bileşenler glukozun sindirimini engelleyerek yavaşlatmaktadır (Memiş ve Şanlıer, 2009).



Şekil 2. Bisküvilerin beyaz ekmeğe göre hidroliz grafikleri

Kırmızı mercimek, spagetti ve pirinç unu ile bisküvi örneklerine ait hidroliz indeks (Hİ) ve glisemik indeks (Gİ) değerleri Tablo 3' de verilmiştir. Gıda örneklerinin Hİ' leri 14,4 ile 62,3 arasında, Gİ' leri ise 33,3 ile 51,7 arasında değişmektedir. Referans alınan beyaz ekmeğin (66,4) ile kıyaslandığında Gİ' ler üç örnekte de düşük bulunmuştur.

2 ayrı örneklem grubunda 2 farklı beyaz ekmeğin kullanılmıştır. Beyaz ekmeğin glisemik indeksleri, denklemden beyaz ekmeğin hidroliz indeksi 100 olarak kabul edildiğinde, birinci grup gıda örneklerinde 66,4 olarak hesaplanırken, ikinci grup bisküvi örneklerinde ise 66,2 olarak hesaplanmıştır. Sükrozun glisemik indeks değeri (beyaz ekmeğin referans alındığında) 65'in altında iken glukozun Gİ değeri 97, früktoz ve laktozun sırasıyla Gİ değeri 23 ve 46'dır (Pi-Sunyer, 2002). Glukoz içeriği yüksek olan besinlerin glisemik indeks değerleri früktoz içeren besinlere göre yüksektir (Memiş ve Şanlıer, 2009).

Tüm örnekler arasında en düşük Gİ değeri 33,3 ile kırmızı mercimekte bulunmuştur. Baklagillerin amiloz oranı tahıl ürünlerine göre daha fazla olduğundan Gİ değeri düşüktür, sindirim enzimleri tarafından sindirilemeyen veya sindirilmeye direnç gösteren nişasta fraksiyonu "dirençli nişasta" baklagillerde tahıllara göre daha fazla bulunmaktadır (Nayak ve ark., 2014).

Jenkins ve ark. (1988), bu çalışmanın sonuçlarıyla uyumlu olarak, çalışmalarında kırmızı mercimek Gİ değerini 37±6 tespit etmişlerdir (Jenkins ve ark., 1988). Bir gıdanın lif içeriği glisemik indeksini etkilemektedir. Bulunduğu sistemin viskozitesini arttıran β-glukanlar, pektinler ve gamlar gibi suda çözünen lif türleri besinin mideden ince barsağa geçişini yavaşlatarak ve enzimlerin substrata ulaşmasını engelleyerek Gİ değerini düşürmektedir (Memiş ve Şanlıer, 2009). Yapılan bir çalışmada, hiç lif içermeyen 6 farklı nişastalı besin (Gİ değerleri 52-72 arasında) ve 250 mL suda çözünmüş 2,5 g veya 5 g granüller PGX'i (viskoz lif suplemmanı) tüketirilmişdir. 2,5g PGX tüketildiğinde besinlerin Gİ değeri %19 azalırken, 5 g tüketildiğinde %30 düştüğü görülmüştür (Brand-Miller ve ark., 2012).

Bu çalışmada, kırmızı mercimek ve makarnanın Gİ değerleri, pirinç unu Gİ değerinden (51,7) düşük bulunmuştur. Besinin fiziksel yapısı da Gİ değerini etkileyen bir parametredir. Yoğun yapılı besinler örneğin fındık, makarna, baklagiller ve viskoz besinler daha yavaş sindirilmektedir. Böylece, kan dolaşımına glukoz salınımı yavaşlamakta ve bu durum düşük Gİ ile sonuçlanmaktadır. Viskoz olmayan sıvılar veya ekmeğin gibi besinlerde amilaz karbonhidratları yıkmakta ve sonuç olarak glukoz hızlıca kan dolaşımına katılmaktadır (Jones, 2012).

Bisküvilerin Hİ' leri 81,5 ile 109,6 arasında, Gİ' leri ise 59,1 ile 69,9 arasında değişmektedir. Referans alınan beyaz ekmeğin (66,2) ile bisküvilerin Gİ' leri kıyaslandığında, Gİ sadece form şekersiz bisküvide yüksek bulunmuştur. Yulaflı bisküvi ve form şekerli bisküvinin Gİ' leri düşük bulunmuştur. Şekersiz form bisküvinin beklenenin tersine yüksek Gİ' li bulunması, çok daha düşük miktarda lif içerdiğini göstermektedir. Şekerli form ve şekersiz form bisküvilerin paketlerindeki etiket bilgileri incelendiğinde lif miktarlarının yaklaşık 2 katı kadar farklı olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu olarak, yüksek Gİ' li bulunan şekersiz form bisküvinin lif miktarı şekerli form bisküvinin yaklaşık yarısı kadardır. Bu da, gıda ürünlerinin içeriğindeki lifin kaynak ve miktarının Gİ değeri üzerine olan olumlu etkisini açıklamaktadır ve çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir. Normal günlük diyetle alınması gereken lif oranı 25-38 g/gün olarak önerilmektedir (TÜBER, 2016).

Foster-Powell ve ark. (2002) çalışmasında yulafli ve form özellikteki bisküvilerin Gİ değerleri 57 ± 3 ile 70 ± 3 aralığında olduğu bildirilmiştir. Foster-Powell ve ark. (2002)'nin çalışması, bu çalışmada 59,1-69,9 aralığında bulunan Gİ sonuçlarını desteklemektedir. Ayrıca, yulafli bisküvi'nin 57 ± 4 olarak bildirilen Gİ değeri de bu çalışmadaki yulafli bisküvi Gİ (60,8) sonucuyla oldukça uyumludur (Foster-Powell ve ark., 2002).

Yulafli bisküvinin Gİ'inin şekersiz form bisküviden düşük bulunması da, yüksek lifin Gİ üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymaktadır. Yulaf, postprandiyal kan glukozunu ve insülin yanıtlarını azaltmada rol oynayan biyo aktif bir madde olan β -glukan içeriğiyle bu çalışmayı desteklemektedir (Koh-Banerjee ve ark., 2004). Malezya'da diyabetli hastalar üzerinde yapılan küçük bir çalışmada, yulaf tüketimi ile bozulmuş glukoz toleransı (IGT) arasında bir ilişki bulunmuş, ancak bu ilişki mısır gevreği ile yapılan çalışmalarda bulunamamıştır (Munirah ve ark., 2012).

Selüloz yüksek çözünmez lif içeriği sayesinde düşük glisemik indekse sahiptir (Foster-Powell ve ark., 2002) ve genellikle kepekli ürünler ve kahverengi pirinç de dahil olmak üzere ev tipi gıda ürünlerinde en çok bulunan polisakkarit olarak kabul edilir. Selüloz çözünmez olduğu için bu gıdalar diyet lif içeriğinin artırılıp artırılmadığına bakılmaksızın aynı glisemik indeks değerine sahiptir (Jenkins ve ark., 2002).

Bu çalışmada, yulaf ve kepek içeriği yüksek olduğu bilinen bisküvi örneklerinin Gİ değerleri nispeten yüksek bulundu. Pişirme koşulları, hücre duvarını, granülün yapısını ve jelatinizasyonu bozarak glisemik indeks değerini arttırmaktadır. Fırınlanmış pul pul olmuş bir besinin glisemik yanıtının, çığ buğday gevreğinin glisemik yanıtına benzediği bildirilmiştir (Nayak ve ark., 2014).

Tablo 3. Bazı gıdaların ve bisküvilerin hidroliz indeksi ve glisemik indeks değerleri

Gıda örnekleri	Hİ	Gİ	Bisküvi örnekleri	Hİ	Gİ
Kırmızı mercimek	14,4	33,3	Yulafli bisküvi	85,9	60,8
Spagetti	53,2	48,3	Form şekersiz bisküvi	109,6	69,9
Pirinç unu	62,3	51,7	Form şekerli bisküvi	81,5	59,1
Referans ekmek 1	100	66,4	Referans ekmek 2	100	66,2

Hu ve ark. (2004), pirincin diğer nişastalı gıdalara kıyasla nispeten yüksek bir glisemik cevaba sahip olduğu bildirmektedir (Hu ve ark., 2004). Bu çalışmada pirinç unu 51,7 Gİ değeri ile kendi grubunda en yüksek glisemik indeks değerinde bulunmuştur.

Bir besinin içerdiği karbonhidratın ve besinin emilim hızını etkileyen birçok etmen bulunmaktadır ve bunlar besinin Gİ değerini de etkilemektedir. Bu etmenler, besinin sindirilme oranı, geçiş zamanı, yapısı, hazırlanma şekli, olgunluğu, protein ile yağ içeriği, lifin miktarı ve türü, yapısındaki nişastanın şekli (amiloz veya amilopektin oranının baskın olması), monosakkarit bileşenleri, α -amilaz inhibitörleri gibi besin ögesi olmayan bileşikler içermektedir (Wong ve ark., 2010). Brennan ve Brennan (2009), işlenmiş gıdalarda yavaş sindirilebilen nişasta (YSN) miktarını artırma ile glisemik indeks oranını azaltmanın mümkün olduğunu göstermiştir (Brennan ve Brennan, 2009).

Diyabet, dünya çapında artmaya devam eden küresel bir sağlık sorunudur. Refah düzeyinin artışına bağlı olarak bireylerin beslenme alışkanlıklarının farklılaştığı ve günlük enerji ihtiyacında yer alan karbonhidratların yapısının değiştiği, basit karbonhidratlara göre kompleks karbonhidrat tüketim oranının arttığı belirtilmektedir. Günümüzde diyabete bağlı hastalıklar nedeniyle ölüm oranlarının sürekli arttığı Amerika Birleşik Devletleri'nde TİP 2 DM prevalansındaki artışın en büyük nedenlerinden biri olarak rafine edilmiş karbonhidratlı gıda tüketiminin artması ve buna paralel olarak alınması gereken günlük lif ihtiyacının yeterince karşılanmadığı gösterilmektedir (Gross ve ark., 2004). "Amerikan Diabetes Association" (ADA) verilerine göre 2013 yılı itibarıyla ülkede toplam 26 milyon diyabet hastası (toplam nüfusun %8,3'ü) ve 79 milyon prediyabetik birey bulunmaktadır (ADA, 2017). Atıştırmalık bisküvilerde olduğu gibi, yüksek Gİ'e sahip besinlerin tüketiminin, düşük Gİ'e sahip besinlere kıyasla artması diyabet oranındaki artışı açıklamaktadır (Wong ve ark., 2010). Tıp 2 diyabet (TİP 2 DM) hastalarında diyet programı ve kilo kontrolü eğitiminin diyabetin tedavisinde önemli bir yeri vardır. Diyabetin tedavisinde kullanılan diyetle alınan toplam kalorinin %50-60'ı karbonhidratlardan, %15-20'si proteinlerden ve %30'u ise yağlardan oluşmalıdır (Kumar ve ark., 2018). Yulaf veya yulaf bazlı tahılların hipokalorik bir diyetle yararını destekleyen kanıtlar bulunmaktadır (Chang ve ark., 2013). Brennan ve Brennan (2009), yüksek Gİ'li gıdalar içeren diyetleri; kilo artışı, insülin eksikliği, bozulmuş kan glukozu kontrolü ve artan obezite seviyeleri ile ilişkilendirmiştir (Brennan ve Brennan, 2009).

4. Sonuç

Bu çalışmada, günlük beslenmemizde sıklıkla kullanılan kırmızı mercimek, spagetti ve pirinç unu gibi bazı gıda ürünleri ile form, diyet ve light olmasıyla bilinen bazı bisküvilerin glisemik indeks değerleri in vitro yöntem ile belirlenmiştir. Sonuç olarak, birinci örneklem grubunda yer alan gıdaların glisemik indeksleri beyaz ekmekten daha düşük bulunurken, ikinci örneklem grubunda yer alan bisküvilerde ise bir tanesi beyaz ekmekten daha yüksek (form şekersiz bisküvi), diğer ikisi düşük bulunmuştur. Yulafli bisküvinin düşük Gİ'li olması beklenen bir sonuç iken, form şekerli bisküvi örneğinin Gİ'inin düşük bulunmasının, içeriğindeki yüksek lif miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde, şekersiz form bisküvinin beklenenin tersine yüksek Gİ'li bulunması, çok daha düşük miktarda lif içerdiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın literatürü destekleyen sonuçları, diyet lifinin gıda ürünlerinin glisemik indeksine olan olumlu etkisini vurgulamaktadır. Gıda ürünü şekerli dahi olsa, yüksek lif içeriği glukozun hidrolizini engelleyerek yavaşlatmıştır. Her ne kadar form bisküvi ürünleri halk arasında sağlıklı atıştırmalıklara alternatif olarak görüle de, bu çalışmanın sonuçları göstermektedir ki, form bisküvilerin glisemik indeksleri nispeten yüksektir.

Gıdaların Gİ' i in vivo olarak etik kurul onayını takiben yapılabilmektedir. Bu hem zaman hem de maliyet açısından özellikle ürün geliştirme aşamasında tercih edilmez. İn vitro olarak, insan gastrointestinal sistemi simüle edilerek (ağız, mide, ince bağırsak) gıdaların Gİ' inin yaklaşık 4-5 saat gibi kısa sürelerde belirlendiği bu yöntem, bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmanın literatürü oldukça yakından destekleyen sonuçları, in vitro yöntemin glisemik indeks tayinindeki güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Ülkemizde Gİ verileri sadece yapılan çalışmalar ve raporlarda bildirilmektedir. Tüketicinin bu konuda bilinçlendirilmesi sağlanıp, bu verilere ulaşması kolaylaştırılmalıdır. Tüketici tarafından gıdaların ve gıda ürünlerinin Gİ' lerinin bilinmesi faydalı ve kesin bir çözüm olacağından, Türk Gıda Kodeksi' nde etiket bilgilerinde Gİ verilerinin yer alması önerilmektedir.

Yüksek glisemik indeksli bisküvilerin tüketimi, uzun veya kısa vadede insülin eksikliğine, kan şekeri seviyelerinin artmasına ve şişmanlık seviyelerinin artmasına neden olabilir. Kan şekere etkisinden dolayı beslenmede düşük glisemik indeksli gıdalar ve gıda ürünleri tercih edilmelidir. Yüksek glisemik indekse sahip ürünlerin glisemik indeksini azaltmaya yönelik çalışmalar artırılarak yulaf formüle edilmesi önerilmektedir.

Kaynakça

- ADA (2017). American Diabetes Association (2017). 2. Classification and diagnosis of diabetes. *Diabetes care*, 40 (Supplement 1), S11-S24.
- Bell, S.J. & B. Sears, (2003). Low-Glycemic-Load Diets: Impact on Obesity and Chronic Diseases, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43:4, 357-377, DOI: 10.1080/10408690390826554.
- Brand-Miller, J. C., Atkinson, F. S., Gahler, R. J., Kacinik, V., Lyon, M. R., & Wood, S. (2012). Effects of added PGX®, a novel functional fibre, on the glycaemic index of starchy foods. *British Journal of Nutrition*, 108(2), 245-248.
- Brennan, C. S. (2005). Dietary Fibre, Glycaemic response, and Diabetes. *Molecular Nutrition and Food Research* 49, 560-570.
- Brennan, C. S., & Brennan, M. A. (2009). Glycemic response reduction in processed food products. In *Modern Biopolymer Science* (pp. 511-518). Academic Press.
- Chang, H. C., Huang, C. N., Yeh, D. M., Wang, S. J., Peng, C. H., & Wang, C. J. (2013). Oat prevents obesity and abdominal fat distribution, and improves liver function in humans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(1), 18-2.
- Chiu, C. J., Liu, S., Willett, W. C., Wolever, T. M., Brand-Miller, J. C., Barclay, A. W., & Taylor, A. (2011). Informing food choices and health outcomes by use of the dietary glycemic index. *Nutrition Reviews*, 69(4), 231-242.
- Das, S. K., Gilhooly, C. H., Golden, J. K., Pittas, A. G., Fuss, P. J., Cheatham et al., (2007). Long-term effects of 2 energy-restricted diets differing in glycemic load on dietary adherence, body composition, and metabolism in CALERIE: a 1-y randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(4), 1023-1030.
- Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, S33-50.
- EFSA (2012). Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to cocoa flavanols and maintenance of normal endothelium-dependent vasodilation pursuant to Article 13 (5) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal*, 10(7), 2809.
- (FAO/WHO) (1998), Food and Agricultural Organization/ World Health Organization. Carbohydrates in Human Nutrition: Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, April 14-18, 1997; Food and nutrition paper. Rome: FAO. 140 pp.
- Foster-Powell, K., Holt, S. H., & Brand-Miller, J. C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 5-56.
- Goñi, I., Garcia-Diz, L., Mañas, E., & Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, 56(4), 445-449.
- Gross, L. S., Li, L., Ford, E. S., & Liu, S. (2004). Increased consumption of refined carbohydrates and the epidemic of type 2 diabetes in the United States: an ecologic assessment. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 774-779.
- Hu, P., Zhao, H., Duan, Z., Linlin, Z., & Wu, D. (2004). Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. *Journal of Cereal Science*, 40(3), 231-237.
- Jamurtas, A.Z., Deli, C.K., Georgakouli, K., & Fatouros, I.G. (2013). Chapter 2- Glycemic Index, Food Exchange Values and Exercise Performance. D. Bagchi, S. Nair & C. K. Sen (Ed.). *Nutrition and Enhanced Sports Performance* (s. 9-27). San Diego: Academic Press.
- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., & Jenkins, A. L. (1988). Starchy foods and glycemic index. *Diabetes Care*, 11(2), 149-159.
- Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Augustin, L. S., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., Jenkins A.L., & Axelsen, M. (2002). Glycemic index: overview of implications in health and disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 266S-273S.
- Jones, J. M. (2012). Glycemic index: The state of the science, part 1—The measure and its variability. *Nutrition Today*, 47(5), 207-213.
- Koh-Banerjee, P., Franz, M., Sampson, L., Liu, S., Jacobs Jr, D. R., Spiegelman, D., & Rimm, E. (2004). Changes in whole-grain, bran, and cereal fiber consumption in relation to 8-y weight gain among men. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(5), 1237-1245.
- Kumar, A., Mittal, R., & Kaur, A. (2018). Insulin Resistance in Diabetes: Present and Future Prospective of Treatment. *Current Psychopharmacology*, 7(2), 94-106.
- Mann, J., Cummings, J., Englyst, H., Key, T., Liu, S., Riccardi, G. et al. (2007) FAO/WHO scientific update on carbohydrates in human nutrition: conclusions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61, S132-S137.
- Memiş, E., & Şanlıer, N. (2009). Glisemik indeks ve sağlık ilişkisi. *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24, 17-27.

- Monro, J., & Mishra, S. (2009). Chapter 13 - Nutritional Value of Potatoes: Digestibility, Glycemic Index, and Glycemic Impact. J. Singh & L. Kaur (Ed.). *Advances in Potato Chemistry and Technology* (s. 371-394). San Diego: Academic Press.
- Munirah, M. N., Shafurah, A. S., Norazmir, M. N., Adilin, M. A. H., & Ajau, D. (2012). Roles of whole grains-based products in maintaining treatment targets among type 2 diabetes mellitus patients. *Asian Journal of Clinical Nutrition*, 4(2), 67-76.
- Nayak, B., Berrios, J. D. J., & Tang, J. (2014). Impact of food processing on the glycemic index (GI) of potato products. *Food Research International*, 56, 35-46.
- Peysner, T. A., Balo, A. K., Buckingham, B. A., Hirsch, I. B., & Garcia, A. (2018). Glycemic variability percentage: a novel method for assessing glycemic variability from continuous glucose monitor data. *Diabetes Technology & Therapeutics*, 20(1), 6-16.
- Pi-Sunyer, F. X. (2002). Glycemic index and disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 290S-298S.
- TÜBER. (2016). *Türkiye Beslenme Rehberi 2015 Sağlık Bakanlığı Yayın No: 1031*.
- TÜRKOMP (2013) *Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı*. (2013). <http://www.turkomp.gov.tr>. Erişim tarihi: 1 Ağustos, 2019.
- Wild, S., Roglic, G., Green, A., Sicree, R., & King, H. (2004). Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes Care*, 27(5), 1047-1053.
- Wong, J.M.W., Josse, A.R., Augustin, L., Saxena, N., Chiavaroli, L., Kendall, C.W.C. et al. (2010). Chapter 17 - Implications of the Glycemic Index in Obesity. L. Dubé, A. Bechara, A. Dagher, A. Drewnowski, J. Lebel, P. James & R. Y. Yada (Ed.). *Obesity Prevention* (s. 219-230). San Diego: Academic Press.



Development of Fly Ash Containing Catalytic Vitreous Enamel Coatings

Buğra Çiçek^{1*},

¹Yıldız Technical University, Department of Metallurgical and Materials Science Engineering, Esenler, Istanbul (ORCID: 0000-0001-8195-4153)

(First received 16 August 2019 and in final form 26 August 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.603490)

ATIF/REFERENCE: Çiçek, B. (2019). Development of Fly Ash Containing Catalytic Vitreous Enamel Coatings. *European Journal of Science and Technology*, (16), 948-959.

Abstract

Fly ashes are the by products from coal based raw materials of thermal power plants that are gathered with electro filters or cyclones. Due to the utilization possibility of fly ash particles varying applications Fly Ash is considered as a byproduct of thermal power plants. Investigation on possible use of fly ash in enamel production are reported. New enamel frits compositions were developed in order to utilize the fly ash in most efficient in their glass – ceramic matrix. Catalytic enamel frits were selected to be studied due to their high metallic oxide amounts compared to other enamel frits. Fly ash particles are added to the developed catalytic enamel frit in 1 wt.%, 5 wt.% and 10 wt.% in order to investigate the possible alternative usage of fly ash by products. Catalytic activity of the prepared enamels tested with ISO 8291 Test Standard and also, the surface roughness and gloss values are determined. Gloss values were increased compared to the standart enamel compositions in a tolerable amount. 1 wt.%, 5 wt.% and 10 wt.% fly ash addition, the gloss values was increased up tp 3.3, 10 and 36.6 %, respectively. Surface roughness of the standard enamel coating was 96 µm and with 1 wt.%, 5 wt.% and 10 wt.% fly ash addition the roughness values increase 14.5, 28.1 and 33.3 %. The results showed that addition of fly ash into the catalytic enamel frit did not change the ISO 8291 Test results which are 8 cycles for all the samples. Fly ash particles did not distort the catalytic enamel layer and did not impair the catalytic properties.

Keywords: Fly ash, Enamel, Frit, Sustainability, Recycling

1. Introduction

Thermal power plants produce three types of ashes: bottom ash which is heavy since the bottom ash is a coarser component of coal ash so that cannot transport by flue gases and comprising about 10% of the waste, raw ash which is obtained in the cyclone type furnaces and fly ash (Türker, Erdoğan, Katnaş, & Yeğınobalı , 2009) (Ramzi Hannan, Shahidan, Maarof, & Noorwirdawati, 2017). Since the fly ash is an insalubrious substance to the environment and human body when it's released (Sahu & Jayaram, 2000), its interaction with the air is blocked by cyclone or electro filters and it is collected in cyclone or electro filters by transporting flue gases from the combustion of pulverized coal in thermal power plants. Figure 1 shows the ash production in thermal power plants.

The molten material resulting from the combustion of coal at high temperatures, cools down and becomes partially or completely spherical shaped ash particles. These glass-like ash particles are very fine (0.5 - 150 µm) and are called fly ash because of their entrainment with flue gases (Sear, 2001).

¹ Corresponding Author: Yıldız Technical University, Department of Metallurgical and Materials Science Engineering, Esenler, Istanbul, ORCID: 0000-0001-8195-4153, bugracicek@gmail.com

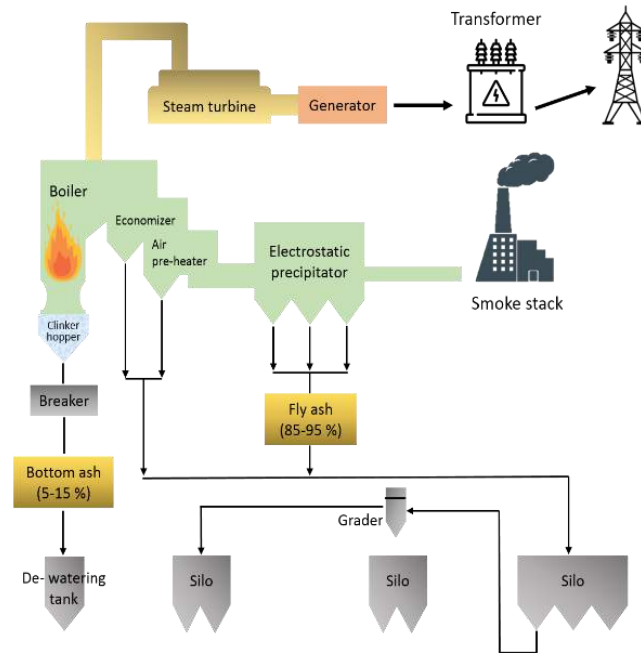


Figure 1 Simulation of ash generation from a power plant (*Clean Coal Technologies in Japan, 2007*)

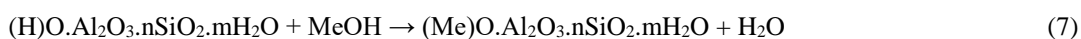
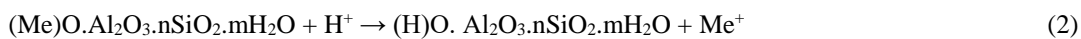
The main compounds in the fly ash depend on the type of the fly ash but most of the fly ash compounds consist of SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and CaO with minority of MgO , SO_3 and alkaline oxides such as Na_2O and K_2O . The percentage of the main compounds states the class of the fly ash (Türker, Erdoğan, Katnaş, & Yeğınobalı, 2009). Fly ashes classified as their chemical compounds with respect to ASTM C 618 Standard. The standard classifies the fly ashes as F (with low CaO and pozzolanic characteristic) and C classes (with higher CaO and pozzolanic and binder characteristic) (ASTM, 2005).

The term glass-ceramics refers to an inorganic material that blends two types of materials to form a product that is in a class of its own between glasses and polycrystalline ceramics (Höland & H.Beall, Glass-Ceramics, 2013). They are multi-crystalline materials which contains crystalline and glass phases together, that produced by controlled crystallization of glass with special compositions, which can have high flexural strength (up to 500 MPa), optimal toughness (3 MPa√m), high Vickers hardness (700 MPa), high refractoriness and low thermal expansion coefficient dependent on the composition of glass-ceramic (Höland & Beall, Glass-Ceramic Technology, 2002).

The production of glass, ceramic and glass-ceramic structures with the fly ash addition is a widely studied subject in the materials science other recycling related affairs (Karamanova & Karamanov, 2009), (Erol M. Et al 2004). Production of glass-ceramic structures from fly ashes has widely studied in recent years (Kim, Kim, Oshikawa, & Ikeda, 2003) (Cheng, Ueng, Chen, & Chiu, 2002) (Barberio, et al., 2010). The researches state that the composition of fly ash, the fuel of the thermal power plants since the composition of fly ash is affected by the different fuel types, have high effect for glass-ceramic properties.

Glass-ceramic coatings with catalytic crystalline phase is a well-known technology. The catalytic coating in the enamel technology allows disposing food deposits at household oven firing temperatures (about 250 °C) owing to the catalytic particles in the vitreous enamel and the porous structure of the enamel coating (Bragina, et al., 2015). As oxidation catalysts, the transition metals and their oxides, borides and silicides are commonly used. As decomposition catalysts, acid and activated clays, synthetic and/or natural zeolites, aluminates and magnesium-aluminum silicates are used (Shalygina, Bragina, & Kuryakin, 2012).

The catalytic reactions are occurred as below:

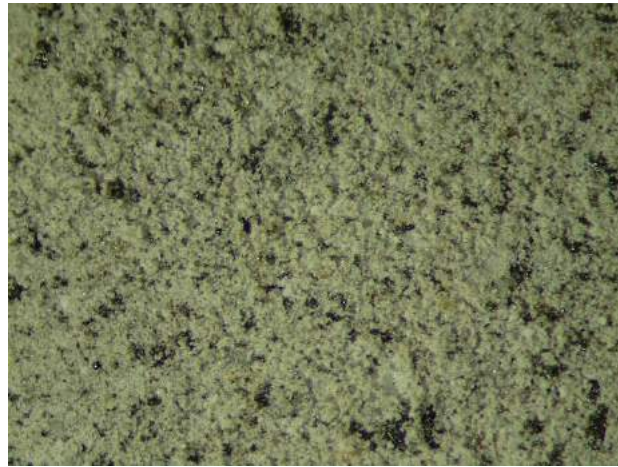




Me : Monovalent metal atom

The H⁺ ions that released from the ionization of carbonic acid R-COOH (1), runs the ion Exchange of Me (2). The product of (1), R - COO⁻ anion, reacts with Me⁺ and forms R - COOMe salt. The decarboxylation reaction in (4) forms a ketone (R - CO - R) and a metal carbonate. The carbonate decomposes to CO₂ gas and metal oxide as shown in (5). This metal oxide is greatly hydroscopic and turns into hydroxide of metal with release of H₂ gas as shown in (6). The aqueous alumina-silicate structure in (2), gives a reaction with metal hydroxide as shown in (7). The ketone in the (4) is reduced to secondary alcohol by hydrogen that has released in (6) as represented by (8). This alcohol reacts with oxygen in the air by the catalytic action of catalyst metal oxides and decomposes to carbon dioxide and water (United States Patent No. US4180482A, 1979).

Figure 2 Optical microscopy image of the studied fly ash sample.



In this study, the fly ash composition is evaluated and a frit composition that shows the most similarity with fly ash has found. The high iron and aluminum oxide contents were the limitation compounds. It is aimed to investigate the workableness and structural effects of fly ash addition into the frit composition with different percentages.

2. Materials and Methods

The fly ash particles derived from Aksa Energy, Thermal Power Plant (Yalova, Turkey). The particle size of the fly ash particles obtained as 44.5 μm via MasterSizer 2000 device. The chemical composition of the fly ash is evaluated by X-ray fluorescence (XRF) analysis and the results are shown in Table 1. Also, optical microscopy image is obtained via Olympos SZ 61 optical microscope and it's shown in Fig. 2.

Table 1. Chemical composition of the studied fly ash

Formula	Concentration (%)
SiO ₂	61 – 63
Al ₂ O ₃	24 – 26
Fe ₂ O ₃	3 – 6
CaO	3 – 4
K ₂ O	1.5 – 2
MgO	0.5 – 1.5
SO ₃	0.5 – 0.7
Other oxides	2.5 – 2.8

According to XRF analysis the fly ash is rich with SiO₂ and the other oxides in the structure are Al₂O₃, Fe₂O₃ and CaO from the most to less. Hence, the studies focused on the frits that show the most similarity of chemical composition with the fly ash since the relatively high Al₂O₃ and Fe₂O₃ content of the fly ash limits the utilization, and it is found that catalytic enamel frits show the most

similar composition with the fly ash. Bulk density of the fly ash is evaluated according to ASTM D7263 - 09(2018)e2 and it was found 0,83 g/cm³.

The ground coat for the study prepared with frit composition as shown in Table 2. The catalytic enamel frits with the desired composition is derived from Gizem Frit (Sakarya, Turkey). The oxide composition of the catalytic enamel frit is shown in Table 3. The fly ash and frit batch mixed together in 1, 5 and 10 wt. %. The Seger formulations are shown in Table 4.

Table 2. Ground coat frit composition

Oxides	Percentage (%)
SiO ₂	55
B ₂ O ₃	10
Na ₂ O + K ₂ O + Li ₂ O	12
CaO + MgO + BaO + SrO + ZnO	10,25
NiO + CoO + CuO + MnO	2,65
Fe ₂ O ₃ + Cr ₂ O ₃ + Sb ₂ O ₃ + P ₂ O ₅ + Al ₂ O ₃	5,25
TiO ₂ + ZrO ₂	4,95

After milling the frit, the enamel powder was sieved down to 170 ± 10 µm and deposited on low-carbon steel panels using two coat – two fire method with Electrostatic Dry Powder Application.

The enamel coating was placed in the preheated furnace at 830 °C without any heating rate and remained in the heating chamber (Protherm PLF 110/30) for 6 minutes. Coating thickness and surface roughness are important parameters in catalytic enamels. As the surface porosity increases, total surface area increases thus enamel layer gives better catalytic properties. As the thickness of the enamel coating increases the oil intake and fatigue risk increase, and vice versa.

The prepared samples were characterized by means of surface and aesthetic properties with gloss and roughness measurement (Goodwin & Whitelock, 1985). The color values of the studied samples are obtained via Konica Minolta CM-700d Spectrophotometer. For this study the surface roughness is very important since the catalytic enamel surfaces require porous structure. The surface roughness of the studied specimens was measured using a PosiTector SPG device. The reported values are the average out of 5 measurements.

The gloss was measured using a AMTAST Digital LCD Gloss Meter at an angle of 60° and the reported values are the average out of 5 measurements.

The self-cleaning properties are evaluated with ISO 8231 (Vitreous and porcelain enamels - Method of test self-cleaning Properties) Test Standard. The standard defines its purpose as enamel coating's ability of absorption of oils that occur during cooking and burning those oils directly without further temperature increase. The pipette is filled with the soy oil at a temperature of 23 ± 2 °C to the marking line and the outside is cleaned with a filter paper. The soy oil drop, whose mass is about 20 - 25 mg, is dripped from each of the 5 holes of the template at a height of 20 mm on the test sample. Five drops of soy oil are also dripped onto the reference sample. (ISO, 2003)

In order to ensure that both samples are exposed to the same thermal and atmospheric conditions, the test sample and the reference sample are placed together on the grid in the oven together with each other. Samples are exposed to 250 ± 10 °C for 30 minutes.

After the samples are removed from the oven, they are allowed to cool to air in an ambient temperature of 20 - 25 °C. The experiment is repeated using the test sample and the reference sample until the surface gloss is observed by naked eye. The number of cycles for which the gloss is observed for the reference sample and test sample is recorded separately.

The dependence of self-cleaning ability can be calculated with respect to time and temperature with different formulas.

Dependence of self-cleaning ability on temperature can be calculated as:

$$SC = (0,140 \cdot 10^{-6}) \cdot e^{0,029 \cdot T} + 12,48 \cdot 10^{-3} \text{ (Eq. 1)}$$

where T is represented for temperature and SC means self-cleaning ability. Dependence of self-cleaning ability on exposure time can be calculated as:

$$SC = 4,43 \cdot 10^{-3} \cdot t + 6 \cdot 10^{-3} \text{ (Eq. 2)}$$

where t is represented for time and SC means self-cleaning ability. (Bragina, et al, 2015)

Formula	Composition (%)
SiO ₂	28 – 31
Al ₂ O ₃	15 – 17.5
MnO	8.5 – 11
P ₂ O ₅	5.5 – 7
Na ₂ O	5.5 – 7
CaO+ CuO	8.5 – 10.5
Fe ₂ O ₃	5 – 6
TiO ₂	3.8 – 4.5
BaO	2.2 – 2.6
K ₂ O	2.4 – 2.8
Other oxides	5.8 – 10.2

Table 4 Seger formulations of the studied samples.

Oxides	Seger formulations		
	1 wt.% addition	5 wt.% addition	10 wt.% addition
SiO ₂	1,497	2,800	2,100
Al ₂ O ₃	0,599	0,660	0,660
B ₂ O ₃	0,084	0,084	0,084
Fe ₂ O ₃	0,200	0,200	0,200
MnO	0,442	0,442	0,442
CaO	0,349	0,300	0,300
CuO	0,120	0,120	0,120
BaO	0,025	0,025	0,025
CoO	0,045	0,045	0,045
MgO	0,100	0,150	0,150
TiO ₂	0,133	0,133	0,133
K ₂ O	0,150	0,150	0,150
Li ₂ O	0,200	0,200	0,200
Na ₂ O	0,175	0,150	0,150
ZrO ₂	0,001	0,0005	0,001
Cr ₂ O ₃	0,020	0,020	0,020
P ₂ O ₅	0,070	0,090	0,090

3. Results and Discussion

The surface roughness property is an important property for catalytic enamels since rougher surfaces have greater specific surface area values. As the surface area of the enamel coating increases, the catalytic activity of the catalyst oxides and the catalytic reaction formation increase.

Table 5 Roughness values of the studied samples.

Sample	Surface Roughness (μm)
Standard	96
1 wt. %	110
5 wt. %	123
10 wt. %	128

The surface roughness values of the studied samples are shown in Table 5. There is an increase with the standard coating's roughness values and fly ash added samples. Fly ash addition and surface roughness values showed increasing characteristics.

Another important property is the gloss values. Vitreous enamels need to show aesthetic properties, although the rough surface structure decreases the gloss values. Table 6 shows the gloss values of the studied samples.

All the samples present same gloss values, only the 10 wt. % fly ash added sample showed small difference. As a result, it can be seen that fly ash did not distort the surface properties of the catalytic enamel layer and shows a convenience with the base catalytic enamel.

Sample	Gloss values (at 60°)
Standard	0.30
1 wt. %	0.32
5 wt. %	0.33
10 wt. %	0.41

Table 6 Gloss values of the studied samples at 60°

The color values of the studied samples are shown in Table 7. It is observed that fly ash addition into the catalytic enamel coating decrease the L values which is the determiner for the white color. The a value, which indicates red color with increase and green color with decrease, increased with the %1 wt. % addition however decreased with the 5 wt. % addition and increased with the 10 wt. % addition. The b value, indicates yellow color with increase and blue color with decrease, decreased with all additions. Since the color values are effected by too many parameters such as coating thickness and different affecting oxide content, and non-continuous change of the values, no strict comment can be done.

Table 7 Color values (D65 SCE) of the studied samples.

Sample	L	A	B
Standard	28.81	0.53	2.66
1 wt. % addition	23.63	0.96	2.45
5 wt. % addition	25.83	0.43	2.16
10 wt. % addition	26.64	0.67	2.19

The surface topography results are shown in Fig. 3. Standard and K5 samples show very similar results while K1 shows dense structure with peaks and K10 shows dense structure with pits.

The SEM images of the studied samples are shown in Fig. 4. Standard specimen shows typical catalytic enamel coating SEM image owing to its catalyst oxide content like manganese oxide. The K1 specimen shows distorted structure. The reason of this behavior is probably the addition of fly ash particles with high Al_2O_3 and FeO content distorts the catalytic enamel structure since the addition level is not enough. Also, the K5 and K10 specimens show the same SEM image with the standard catalytic enamel coating.

Hence, as expected, the addition of fly ash into the enamel matrix does not distort the catalytic enamel structure. Also, when K5 and K10 samples are compared, it can be seen that K5 sample shows more similarity with the standard catalytic enamel sample. K10 sample shows big particles in the enamel matrix with dense structure. From the above information about surface quality properties and SEM/EDS analysis, it can be stated that the amount of added fly ash particles has a threshold value which limits the addition and distorts the surface properties. However, the catalytic activity not only depends on surface roughness, also depends on the self-cleaning ability results.

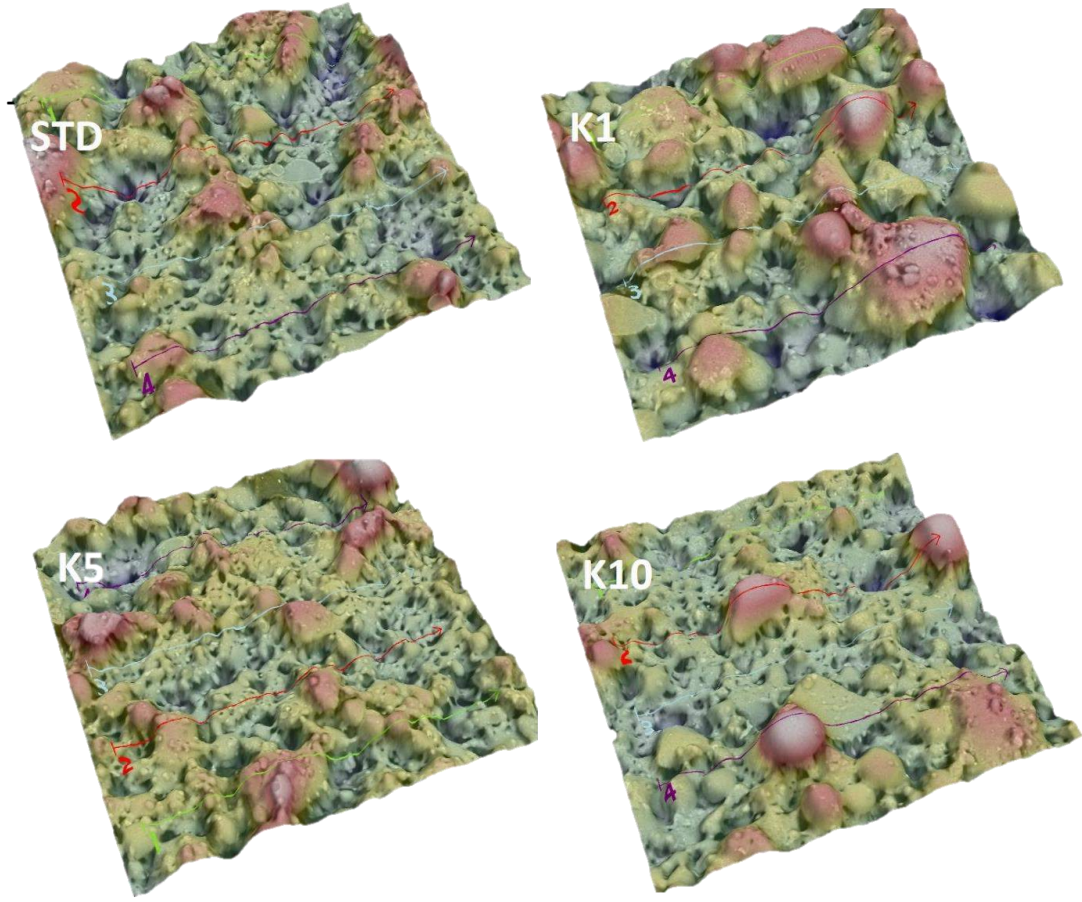


Figure 3: Surface topography results of the studied samples.

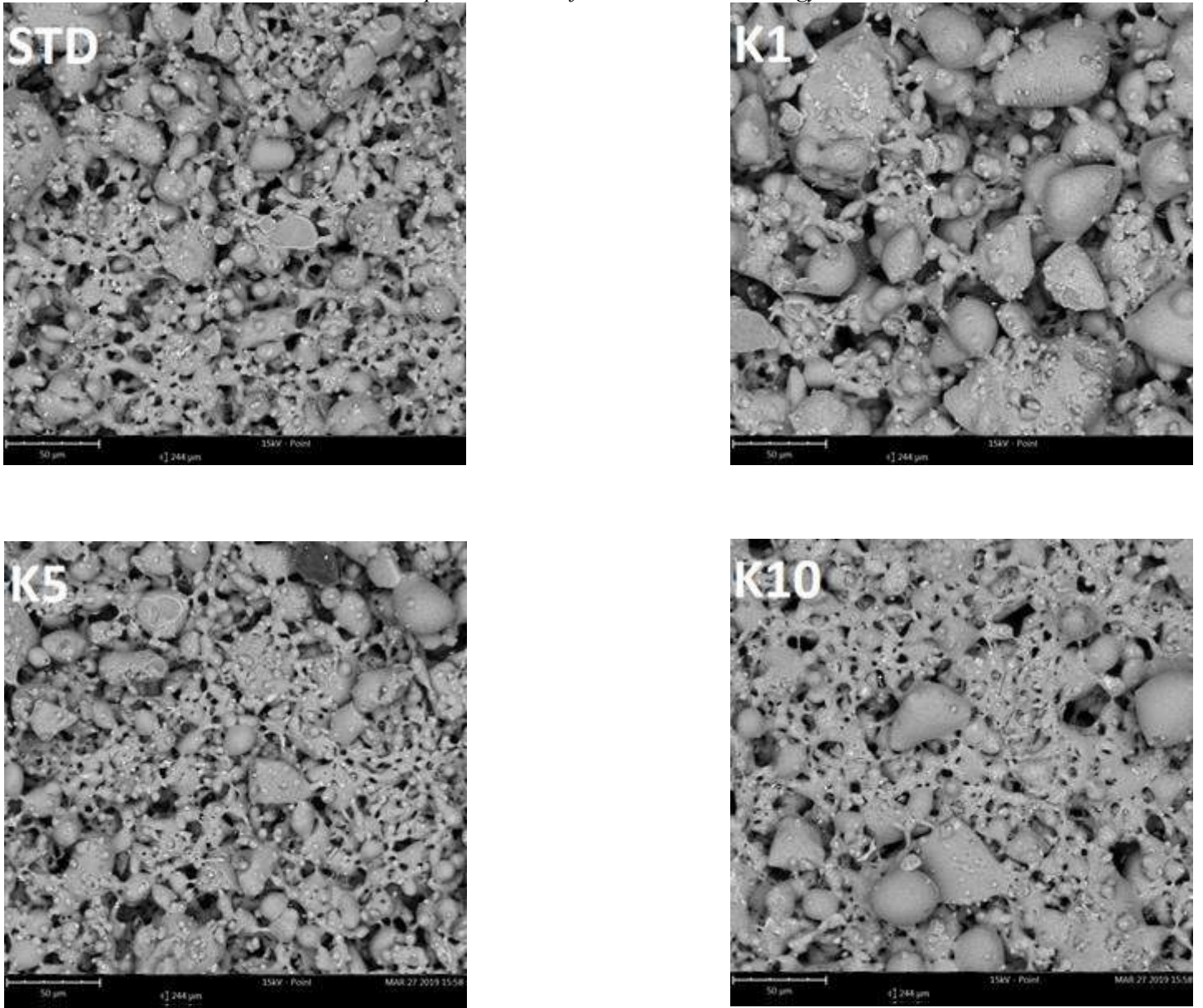


Figure 4: SEM images of the studied samples: STD: standard catalytic enamel, K1: 1 wt. % fly ash addition, K5: 5 wt. % fly ash addition and K10: 10 wt. % fly ash addition

The EDS analysis of the studied samples are shown in Figure 5. All the samples show approximately same results in EDS analysis in the means of quantification. However, it can be seen that as the fly ash addition does not distort catalyst oxide content. K5 sample shows the best similarity with the standard sample without fly ash addition. In the sample marked as K1, the fly ash addition is not enough for the catalytic enamel coating since the SEM image shows a distorted and different micro structure than the standard coating. K10 sample shows that the addition of fly ash increases crystal content, since the fly ash particles mostly consist of SiO_2 molecules and increasing content of B_2O_3 and Li_2O in the developed formulas, also increases the particle sizes of the catalyst oxides. Still, the morphology and the surface properties are not enough parameters for the self-cleaning ability.

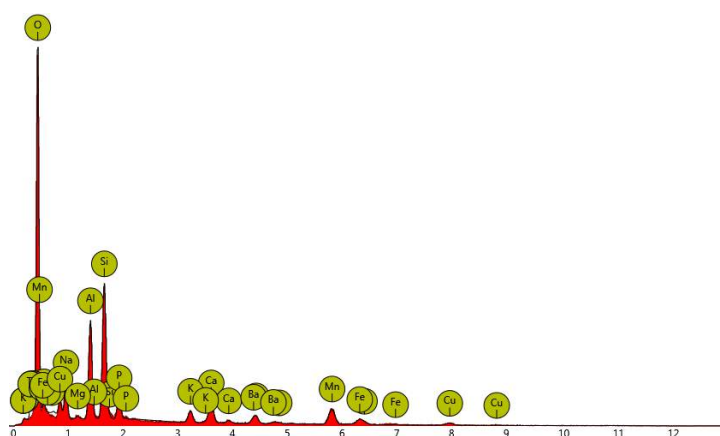
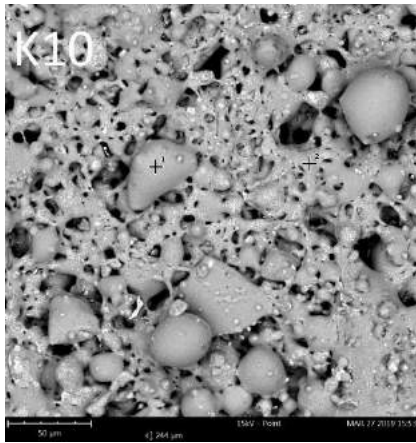
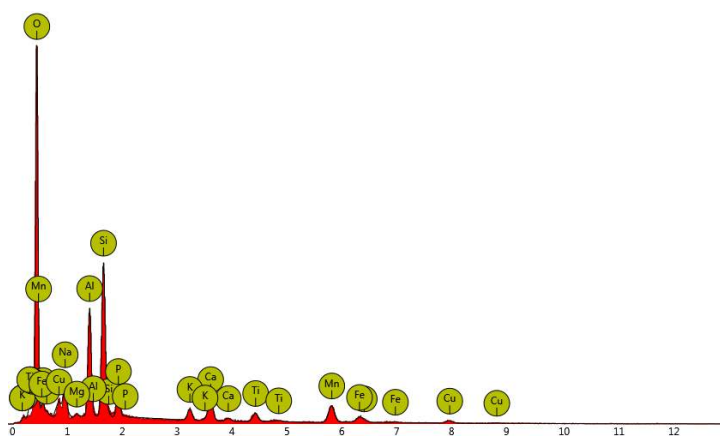
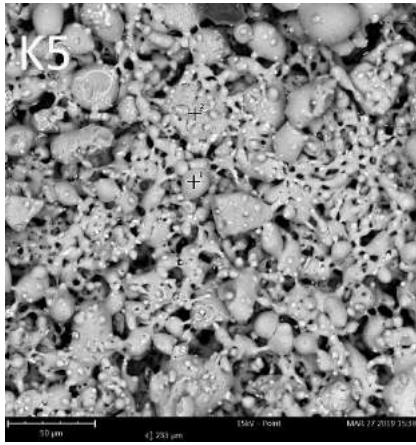
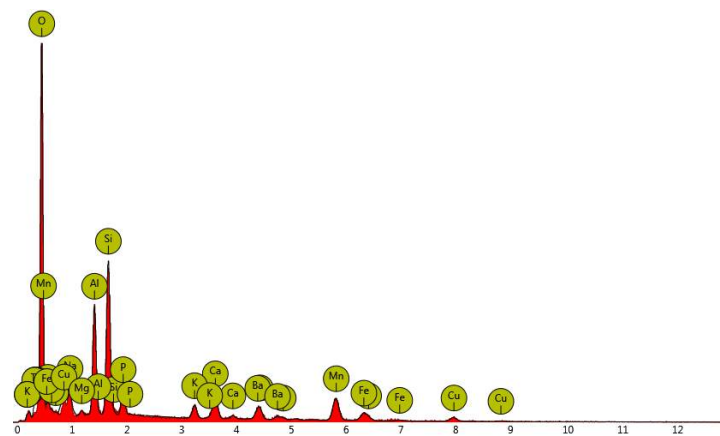
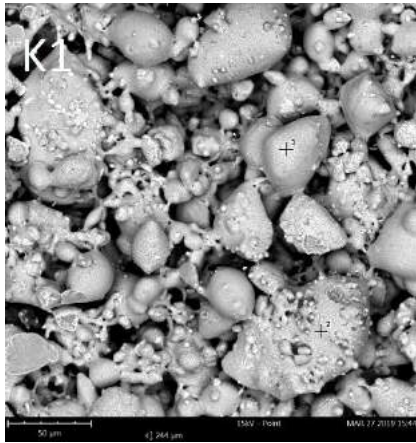
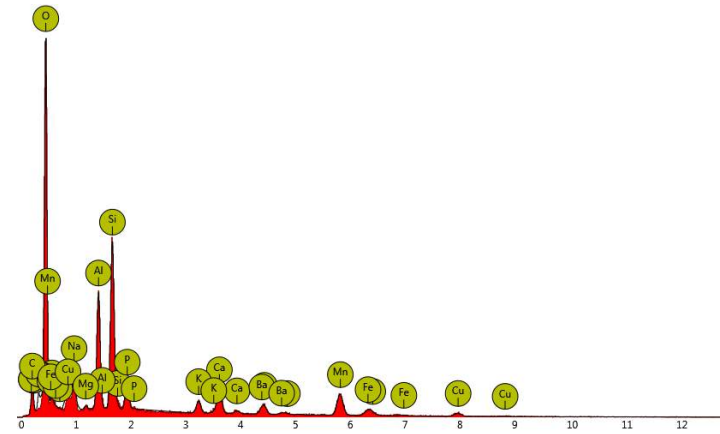
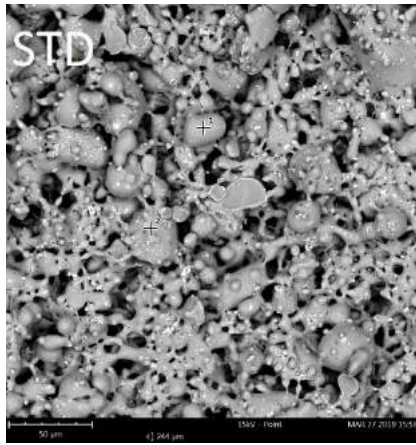


Figure 5 EDS analysis of the studied samples; STD: standard catalytic enamel, K1: 1 wt. % fly ash addition, K5: 5 wt. % fly ash addition and K10: 10 wt. % fly ash addition

The self-cleanability test was made with according to ISO 8291 Test Standard. The test results were same for the all samples which is 8 cycles. It means that a gloss which is caused by the oil drops is observed in the samples at the 8th cycle.

The self-cleaning ability of the coating tested by measuring weight loss of soy oil and the dependence of the time and exposure temperature have a linear and exponential characteristic respectively. Fig. 6 and Fig. 7 show dependence of self-cleaning ability on temperature and exposure time.

Fig. 6 shows that addition of fly ash into the catalytic enamel shows accordance with the catalytic enamel working temperatures which is 200 – 250 °C in the domestic uses. In Fig. 7, catalytic enamels in cooking devices like ovens, needs time for cooking and also activating the catalytic activity so that catalytic activity must increase with increasing exposure time. Fly ash added catalytic enamels also show suitability in this regard.

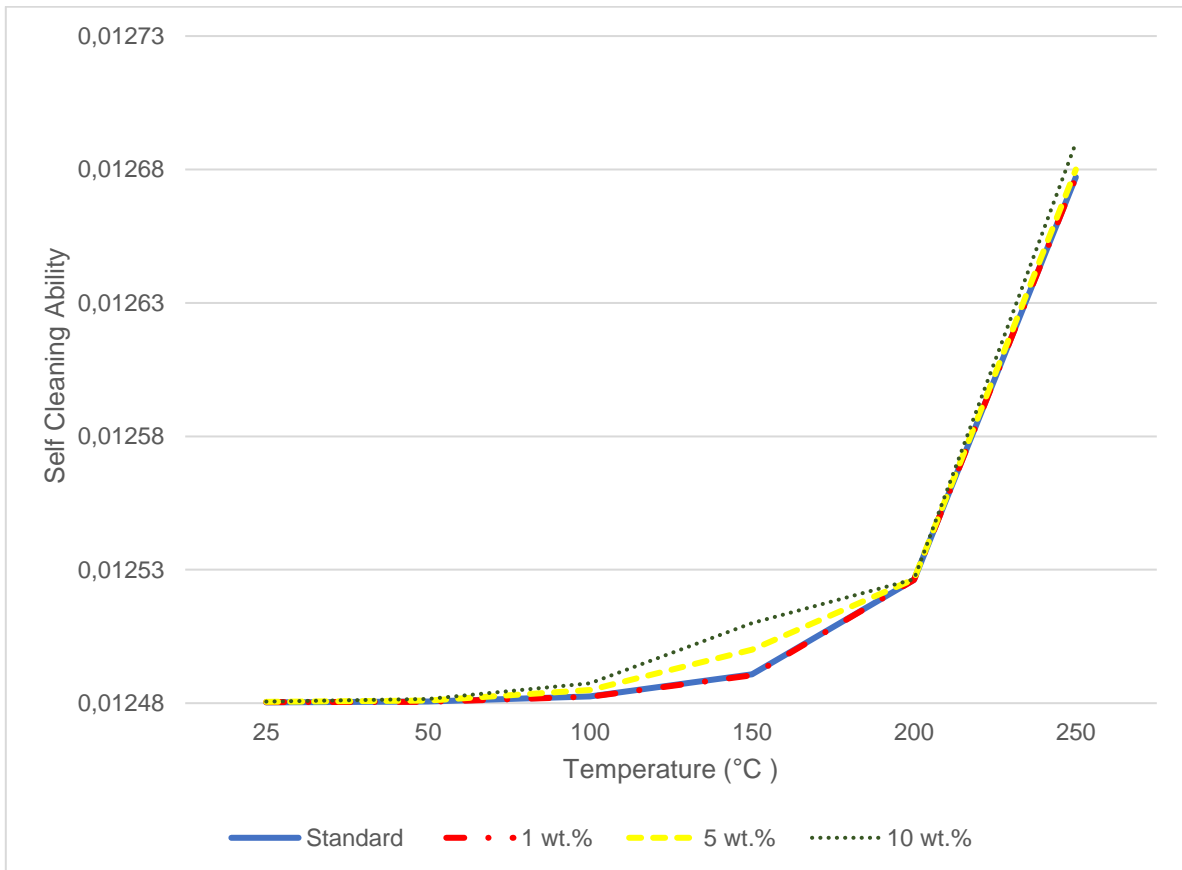


Figure 6. Dependence of self cleaning ability on temperature

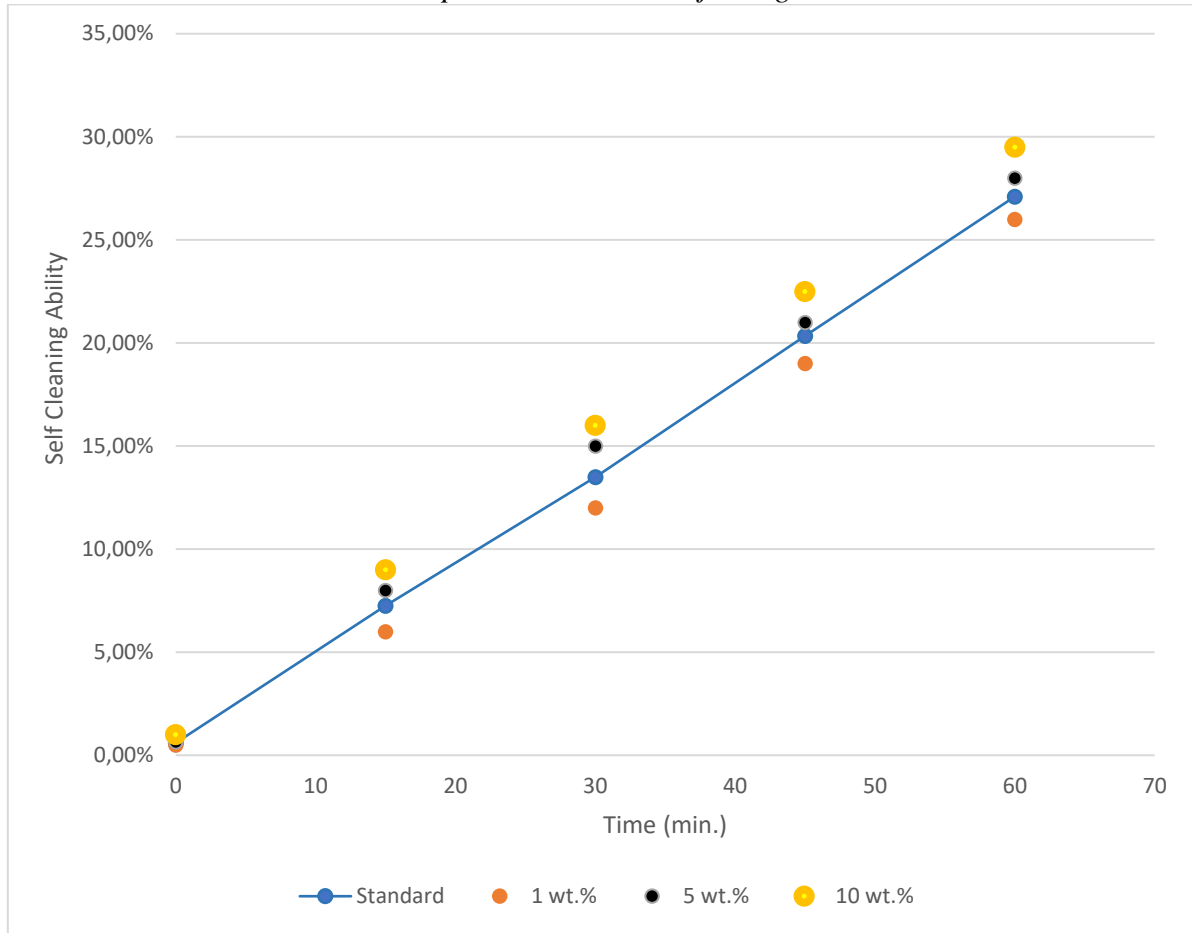


Figure 7. Dependence of self cleaning ability on exposure time

4. Conclusion

Fly ash, a product from the power plants still remain as one of the most promising by product and raw material for ceramics and glass-ceramic industry. The amount of untreated fly ash addition particles into the enamel composition is studied in the manners of enamel production. Fly ash particles obtained from the AKSA Acyclic Chem Co. was added to the enamel matrix with the varying amounts in to the catalytic enamel frit. The comparison was made between standard catalytic enamel and 1 wt. %, 5 wt.% and 10 wt.% fly ash added compositions. Depending on the premier results developed decided compositions were applied and analysed under industrial production conditions. Microstructural properties were observed together with gloss and surface roughness characteristics. For a convenient industrial application and the catalytics activity ISO 8291 test was applied to all samples. As a result, the use of fly ash particles with the catalytic enamel does not have structural drawbacks and showed suitability with the catalytic enamel frits.

Acknowledgements

I would like thank Res. Eng. Mr. Nurullah Çöpoğlu and Gizemfrit Glaze and Ceram. Co Research and Development Center for the Industrial help they provide for the research

References

- ASTM. (2005). *Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials .
- Barberio, G., Buttol, P., Masoni, P., Scalbi, S., Andreola, F., Barbieri, L., & Lancellotti, I. (2010). Use of Incinerator Bottom Ash for Frit Production. *Journal of Industrial Ecology*, 14(2), 200 - 2016. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00224.x>
- Bragina, L., Shalygina, O., Kuryakin, N., Guzenko, N., Hudiakov, V., & Annenkov, V. (2015). Vitreous Enamels for Easy-to-Clean and Catalytic Coatings. *International Enamellers' Congress*. Florence.
- Cheng, T. W., Ueng, T. H., Chen, Y. S., & Chiu, J. (2002). Production of glass-ceramic from incinerator fly ash. *Ceramics International*, 28(7), 779 - 783. [https://doi.org/10.1016/S0272-8842\(02\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0272-8842(02)00043-3)
- Clean Coal Technologies in Japan. (2007). *Coal Ash Generation Process and Application Fields*. Tokyo: Japan Coal Energy Center (JCOAL). Retrieved from http://www.jcoal.or.jp/eng/cctinjapan/2_5C1.pdf

- Erol, M., Küçükbayrak, S., Ersoy-Meriçboyu, A., & Öveçoğlu, L. (2001). Crystallization behaviour of glasses produced from fly ash. *Journal of the European Ceramic Society*, 21(16), 2835 - 2841. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(01\)00221-7](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(01)00221-7)
- Erol, M., Küçükbayrak, S., Ersoy-Meriçboyu, A., & Öveçoğlu, L. (2004). Crystallization kinetics of fly ash based glasses. *Key Engineering Materials*, 264 - 268, 1895-1898. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.264-268.1895>
- Goodwin, J., & Whitelock, K. P. (1985). The importance of colour and its stability in vitreous enamels. *Materials & Design*, 6(4), 172-176. [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(85\)90039-1](https://doi.org/10.1016/0261-3069(85)90039-1)
- Höland, W., & Beall, G. (2002). *Glass-Ceramic Technology*. Ohio: The American Ceramic Society.
- Höland, W., & H.Beall, G. (2013). Glass-Ceramics. *Handbook of Advanced Ceramics* (pp. 371 - 381). Massachusetts: Academic Press.
- ISO. (2003). *ISO 8291 - Vitreous and porcelain enamels - Method of test self-cleaning properties*. London: International Organization for Standardization.
- Karamanova , E., & Karamanov, A. (2009). Glass-ceramic frits from fly ash in terracotta production. *Waste Management & Research*, 27(1), 87 - 92. <https://doi.org/10.1177/0734242X08088694>
- Kim, H. S., Kim, J. M., Oshikawa, T., & Ikeda , K. (2003). Production and Properties of Glass-Ceramic from Incinerator Fly Ash. *Materials Science Forum*, 439, 180 - 185. <https://doi.org/10.1016/S0272-8842%2802%2900043-3>
- Ramzi Hannan, N., Shahidan, S., Maarof, M., & Noorwirdawati, A. (2017). Physical and Chemical Properties of Coal Bottom Ash (CBA) from Tanjung Bin Power Plant. *International Engineering Research and Innovation Symposium (IRIS)* . Melaka. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/160/1/012056>
- Sahu, B. K., & Jayaram, S. (2000). Environmental Impacts of Fly Ash. *Bostnawa Journal of Technology*, pp. 9-13.
- Sear, L. K. (2001). *Properties and Use of Coal Fly Ash - A Valuable Industrial By-Product*. London : Thomas Thelford Publishing.
- Shalygina, O., Bragina, L., & Kuryakin, M. (2012). Powder Electrostatic Technology of House Hold Appliances Enamelling. *Chemistry and Chemical Technology*, 6(4), 435 - 441. <https://doi.org/10.23939/chcht06.04.435>
- Snellings, R., Mertens, G., & Elsen, J. (2012). Supplementary Cementitious Materials. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 74(1), 211-278. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.12.001>
- Sun, S., Li, H., & Xu, Z. J. (2018). Impact of Surface Area in Evaluation of Catalyst Activity. *Joule*, 1024-1027.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., & Yeğınobalı , A. (2009). *Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri*. Ankara: Turkish Cement Manufacturers Association.



An IoT Based Air Quality Measurement and Warning System for Ambient Assisted Living

Mehmet Taştan^{1*}

¹ Department of Electronics & Automation, Manisa Celal Bayar University, 45400, Turgutlu, Manisa, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3712-9433)

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 30 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.607434)

ATIF/REFERENCE: Taştan, M. (2019). An IoT Based Air Quality Measurement and Warning System for Ambient Assisted Living. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 960-968.

Abstract

Indoor air quality parameters are extremely important for creating an efficient and healthy Ambient Assisted Living (AAL) environment, but mostly indoor air quality parameters are well above the values defined as healthy. We spend most of our lives indoors. Detecting air quality problems and improving air quality are only possible by monitoring air quality in real time. Today, smart home automation has become a popular trend and consumers are increasingly aware of new technologies developed in this area, hence the demand for smart homes is growing. In this study, with the IoT-based indoor air quality measurement and warning system, an AAL system was proposed to help especially elderly and children to live safely in their homes. The proposed AAL system consists of a ESP32 controller with a new generation embedded system architecture and low cost different air quality sensors. In addition, the AAL system provides real-time monitoring of indoor air quality parameters such as CO₂, CO, PM₁₀, NO₂, temperature and humidity via the mobile user interface developed with the Blynk IoT platform. The mobile application sends warning notifications to users if the indoor air quality parameters exceeded the specified threshold values. Thanks to these notifications, households can take the necessary measures as soon as possible against the factors that threaten the health of the elderly and children with simple measures such as natural ventilation. The results showed that the proposed measurement system can contribute significantly to AAL systems with its low cost, open source technology, easy installation and mobility.

Keywords: Internet of Things, Ambient Assisted Living, indoor air quality, ESP-32, Blynk.

Özet

İç hava kalitesi parametreleri, verimli ve sağlıklı bir Ortam Destekli Yaşam (ODY) ortamı oluşturmak için son derece önemlidir, ancak çoğunlukla iç hava kalitesi parametreleri, sağlıklı olarak tanımlanan değerlerin oldukça üzerindedir. Hayatımızın büyük bölümünü kapalı alanlarda geçiriyoruz. Hava kalitesi problemlerini tespit etmek ve hava kalitesini iyileştirmek ancak hava kalitesinin gerçek zamanlı olarak izlenmesiyle mümkündür. Günümüzde, ev otomasyonu popüler bir trend haline gelmiştir ve akıllı evlere olan talep, tüketicilerin bu alanda geliştirilen yeni teknolojilerden daha fazla haberdar olmalarıyla giderek artmaktadır. Bu çalışmada, IoT tabanlı iç mekan hava kalitesi ölçüm ve uyarı sistemi ile özellikle yaşlıların ve çocukların evlerinde güvenle yaşamasına yardımcı olmak için bir ODY sistemi önerilmiştir. Önerilen ODY sistemi, yeni nesil gömülü sistem mimarisine sahip ESP32 denetleyiciden ve düşük maliyetli farklı hava kalitesi sensörlerinden oluşur. Ayrıca ODY sistemi, Blynk IoT platformuyla geliştirilen mobil kullanıcı arayüzü aracılığıyla CO₂, CO, PM₁₀, NO₂, sıcaklık ve nem gibi iç mekan hava kalitesi parametrelerinin gerçek zamanlı izlenmesini sağlar. İç mekan hava kalitesi parametreleri belirtilen eşik değerlerin üzerine çıktığında mobil uygulama kullanıcılara uyarı bildirimleri gönderir. Bu bildirimler sayesinde hane halkı, doğal havalandırma gibi basit önlemlerle yaşlı ve çocukların sağlığını tehdit eden faktörlere karşı en kısa sürede gerekli önlemleri alabilir. Sonuçlar, önerilen ölçüm sistemin düşük maliyetli, açık kaynaklı teknoloji, kolay kurulum ve taşınabilir özellikleriyle ODY sistemlerine önemli ölçüde katkıda bulunabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Ortam Destekli Yaşam, İç Hava Kalitesi, ESP-32, Blynk.

*Corresponding Author: Department of Electronics & Automation, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Türkiye, ORCID:0000-0003-3712-9433, mehmet.tastan@cbu.edu.tr

1. Introduction

Air pollution is a result of urbanization brought about by modern life and it has a dramatic impact on the global as well as regional scales. Concerns about air quality in indoor and outdoor living spaces continue to increase in the coming years, where population growth and aging problems are expected to be experienced more. Nearly all urban areas do not satisfy air quality limits set by the World Health Organization (WHO, 2016). By raising awareness of air quality conditions in urban areas, it can be ensured that citizens limit their daily activities that cause air pollution. Children, the elderly and people with respiratory and cardiovascular problems are the most affected by the negative effects of air pollution. The US Environmental Protection Agency (EPA), which is responsible for indoor and outdoor air quality regulation in the United States, considers indoor pollutant levels to be 100 times higher than outdoor pollutant levels and bad air quality as one of the five most important environmental problems (Seguel et al. 2017). Today, people spend about 90% of their time indoors, but especially the elderly and newborns most sensitive to indoor pollution they spend almost all their time indoors. On the other hand, activities such as cooking, household cleaning activities, smoking and the use of traditional heating methods (wood and coal stove), harmful gases such as carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), nitrogen dioxide (NO₂), volatile organic compounds (VOC) and particulate matter (PM) cause many people to be exposed to indoor air pollutants. These dangerous gases cause oxygen deficiency in the lungs and significantly increase the risk of lung cancer. Particularly, CO, leaking from indoor stoves with nitrogen oxide and nitrogen dioxide (NO_x), are the most dangerous gases at the home environment (Cho, 2017). AAL systems are designed to provide support to older adults, individuals who have various illnesses or with disabilities, to live as independent as possible in their homes. Such systems can monitor indoor air quality, people's activities, behavior and even health thanks to the intelligent environments created by people in their homes. The main objectives of these systems are to provide independent assistance to their users, to provide timely assistance in emergency situations and to improve the quality of life by eliminating the need for continuous caregiver supervision (Darwish et al. 2017). The Internet of Things is an ecosystem in which physical objects are linked to one another or to larger systems (Bröring et al. 2017). This network collects billions of data from many different devices that we use in daily life and converts them into usable information. Many devices and machines that we use in our era of technology can be monitored and controlled remotely with different device, especially smart phones and tablets (Gupta and Singh 2018).

The world is entering a new era, and in the near future, the majority of the world's population is expected to spend their lives in smart cities and smart homes. In these cities, a multidisciplinary approach is needed to deal with challenges, promote sustainable urban development and improve the quality of life of citizens (Lynggaard and Skouby 2016). Smart Home is the term commonly used to describe a living space that can communicate with each other and has lighting, heating, air conditioning, TV, computer, entertainment, audio-visual systems, security and camera systems (Harper, 2006). Remote control of lighting and electrical equipment, automatic change of the heating system according to regional weather (Kulkarni and Mukhopadhyay 2018), planning of working hours to reduce energy consumption costs of appliances such as ovens, washing machines, dishwashers and air conditioners (Taştan, 2019), health problems which are requiring continuous monitoring the number of IoT-based technology applications that increase the quality and comfort of our lives in many areas such as living a reliable life with wearable medical devices (Taştan, 2018), smart agriculture applications (Keswani et al. 2019), smart environment are increasing day by day. IoT-based smart home technology makes a significant contribution to human life and health by providing connectivity to everyone regardless of time and space. A wireless electronic nose was proposed to detect harmful gases in indoor environments (Hassan et al. 2015) and it was tried to identify the gases in the environment by using coding models. An AQM system based on an Arduino card, a cloud-based platform that manages data from sensors has been introduced (Fioccola et al. 2016). A comparison was made between two cloud computing models and two IoT communication protocols.

However, the proposed system is based on wired technology that limits the mobility and position of the sensors. The AAL system (Makhlouf et al. 2019) recommended for monitoring the elderly in their homes includes monitoring parameters such as fall detection, heart signal and location at home. The results show that falls are detected with an accuracy of 87%, tachycardia 100%, and location 94%. A modular end-to-end indoor air quality monitoring (IAQM) system, consisting of a wireless sensors network, gateways, and an IoT server, has been introduced (Benammar et al. 2018). The system allows monitoring of six gas concentrations in addition to temperature and humidity simultaneously at different locations. The system also has a data back-up mechanism in case of disruption of radio communication or disconnection from the Internet. Developed with the aim of recognizing the most common daily activities of a person at home, the Human Activity Recognition (HAR) system (Bianchi et al. 2019) can detect 9 different activities of the person with 97% accuracy with a wearable sensor.

In this study, an AAL system was proposed to protect individuals such as patients, elderly and children who spend most of their time indoors and who are vulnerable to indoor pollutants. The proposed AAL system consists of air quality sensors, an ESP32 controller module with embedded architecture, and an Android-based mobile user interface built with the IoT platform. The IoT-based AAL system is low-cost, portable, and features real-time monitoring. Thanks to the controller with built-in WiFi module, all measured indoor air quality data is displayed with the mobile application and this data is saved to the cloud server. The proposed AAL system sends warning notifications to users via mobile application if the gas concentrations, temperature and humidity values reach the limit values that threaten human health. As a result of the notifications sent to the users by the AAL system, it was found that the manual natural ventilation contributes to the creation of a healthier living space by reducing the exposure time to unhealthy indoor weather conditions.

2. Material and Method

Low air quality is a major health threat for children, elderly and patients who spend most of their time indoors. Indoor harmful gases are part of daily life, but most buildings do not have real-time air quality monitoring. In this study, an IoT-based AAL system was proposed for real-time, low-cost air quality monitoring. The proposed AAL system monitors the climatic parameters (temperature, humidity), pollutant gases (CO₂, CO, NO₂) and particulate matter (PM₁₀) in real-time. Developed using the ESP32 microcontroller module with IoT architecture and IEEE 802.11 b / g / n network protocol, the AAL system provides a completely wireless solution. The IoT-based AAL system provides real-time air quality monitoring, providing users with uninterrupted information on pollutant gas and PM concentrations in the environment. When the limits of air quality parameters are exceeded, AAL system sends warning notification to users via mobile application. These notifications about the air quality of the living environment ensure that the air quality is improved as soon as possible by taking the necessary actions of the users.

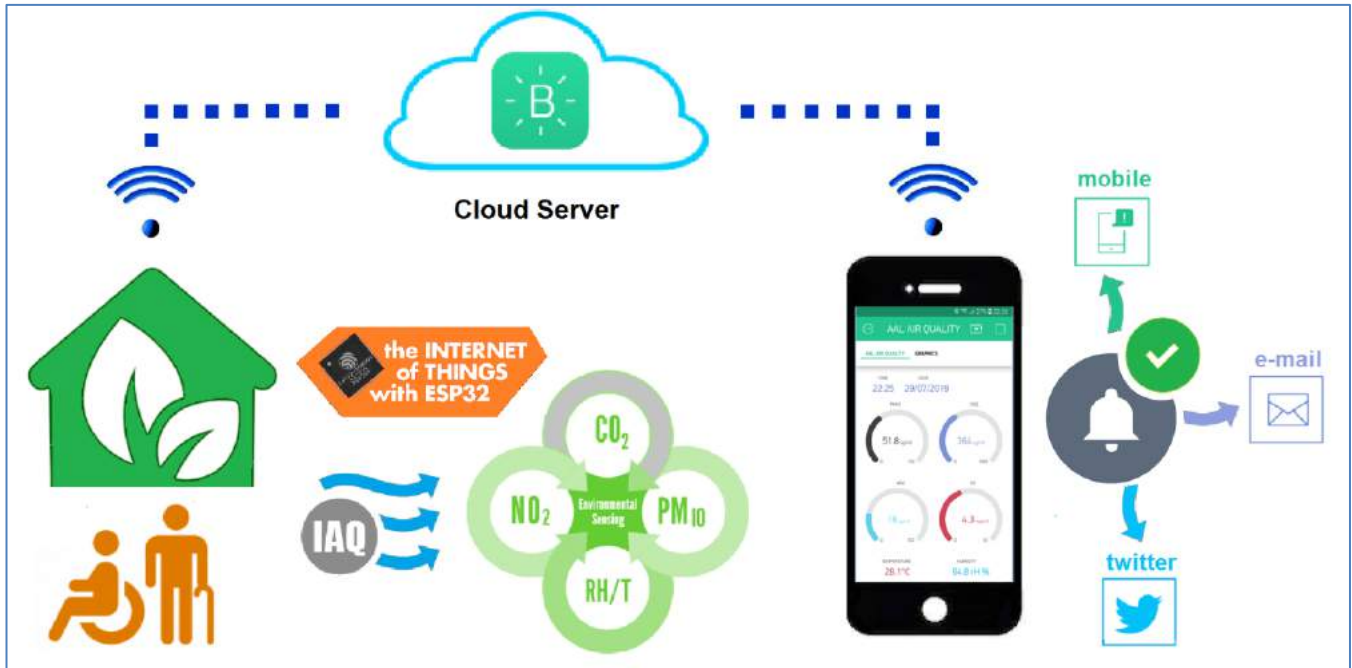


Figure 1. Architecture of the proposed IoT-based AAL system.

The IoT-based AAL system shown in Figure 1 consists of an ESP32 microcontroller module from Espressif Company with wireless Wi-Fi communication and a range of air quality sensors. The ESP32 incorporates a Harvard Tensilica Xtensa LX6 32-bit Dual Core processor capable of operating up to 240 MHz. The ESP32 module has internal wireless modules, such as WiFi and bluetooth, for smart home and IoT applications (Espressif Systems, 2019). The detection unit includes GP2Y1010AU, MH-Z14, MICS-4514 and DHT22 sensors.

Table 1. Electronic features of the sensors in the IoT-based AAL system (Taştan and Gökozan 2019).

Equipment Name	Types	Electronic Features
CO ₂ gas sensor	MH-Z14	Detection range 0-10000 ppm; operating voltage: 4-6 V; accuracy: ± 50 ppm ±5%; resolution: 5 ppm; output Voltage: 0.4-2 V; operating temperature: 0-50 °C
NO ₂ , CO gas sensor	MICS-4514	Detection range 1-1000 ppm (CO); 0.05-5 ppm (NO ₂); operating voltage: 4.9-5.1 V; operating temperature: -35-85 °C; heating current: 58mA
Dust sensor	GP2Y1010AU	Operating voltage: 5V; output voltage: 0.9 (no dust)–3.4 V; operating current: max 20mA; operating temperature: -10-65 °C, accuracy ± 15%
Temperature and Humidity sensor	DHT22	Temperature range: -40°C to 80°C; humidity range: 0% to 100% ; operating voltage: 3.5-5.5V; operating current: 60uA; output : serial; resolution: 0.1°C and ±1 rH% ; accuracy: ± 0.5°C and ±1 rH% ; resolution: temperature and humidity both are 16-bit.

The GP2Y1010AU is an analog output dust sensor with optical detection system. An infrared light emitting diode (IRED) and a photo transistor are arranged transversely to each other. The IR light reflected from the dust entering the sensor's air chamber detects the photo transistor and generates a voltage.

The MH-Z14A CO₂ sensor module uses the principle of non-dispersive infrared (NDIR). The MH-Z14A sensor measures 0-5000 ppm, 5 ppm resolution and ± 50 ppm accuracy. MICS-4514 is used for measuring gas concentrations such as NO₂, CO and hydrocarbons. It has two sensor chips with independent heaters and delicate layers. One sensor chip detects oxidizing gases (OX) and the other sensor detects reducing gases (RED).

DHT22 temperature and humidity sensor consists of two parts: capacitive humidity and thermistor temperature sensor. There is an 8 bit microcontroller on it. It has relative error values of ± 0.5 ° C in temperature measurement and ± 2 rH in humidity measurement.

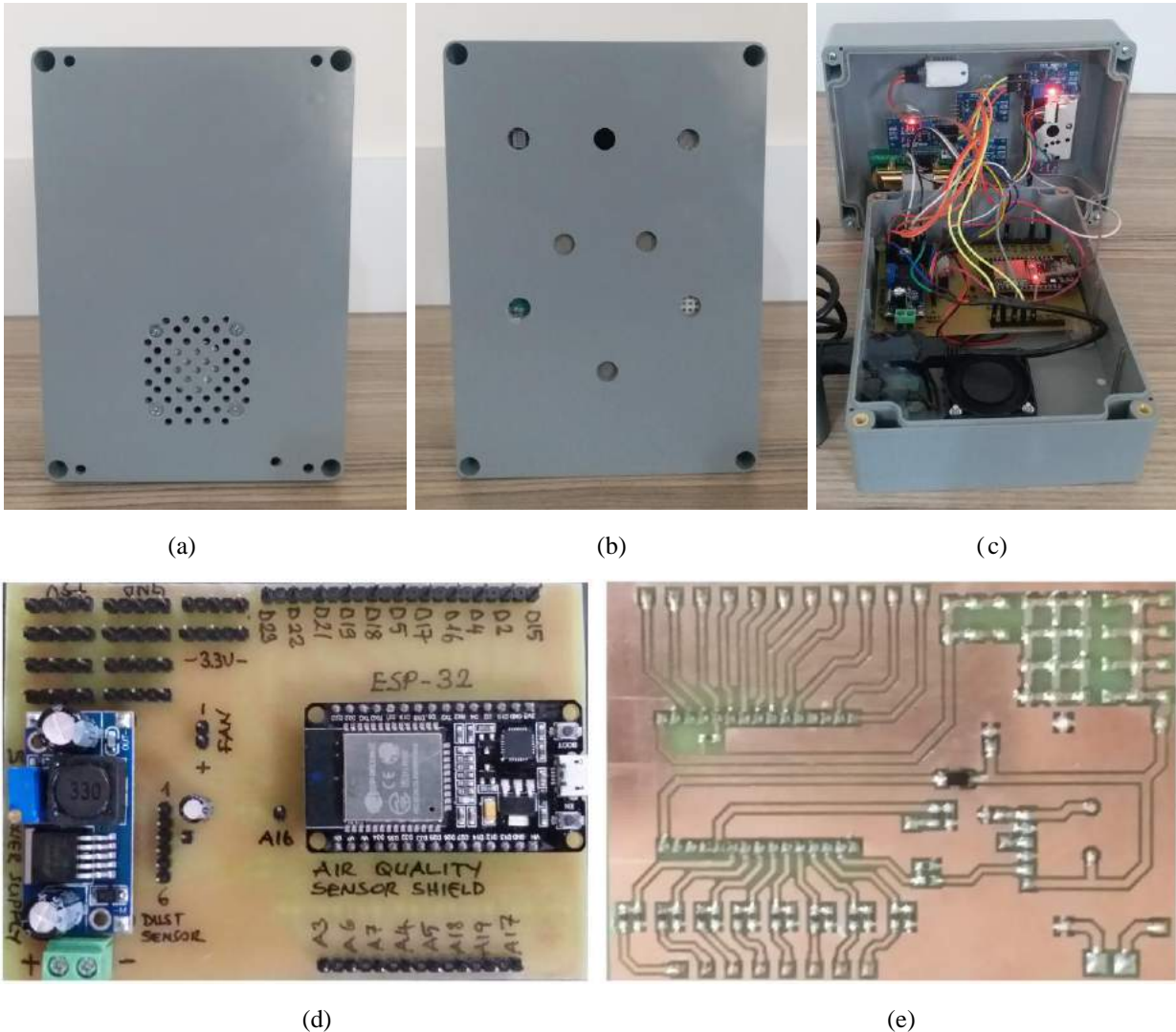


Figure 2. IoT Based AAL System.

The IoT-based AAL system shown in Figure 2 has an IoT-based structure that contains different sensors for measuring indoor air quality. Figures 2-a and 2-b show the front and back views of the measuring system, Figure 2-c shows the connections of the system, and Figure 2-d and 2-e show the pcb images of the measuring system. Blynk Cloud server is used for data recording in AAL system which performs air quality measurement.

This data saved to the cloud server can be sent to the user via e-mail. The values of climate parameters and gas concentrations are calculated by averaging 12 measurements taken at 5-second intervals. In this way, the effect of a fake measurement by the sensors is minimized. If the threshold values for gas concentrations and climate parameters are exceeded, the system sends notification to the users.

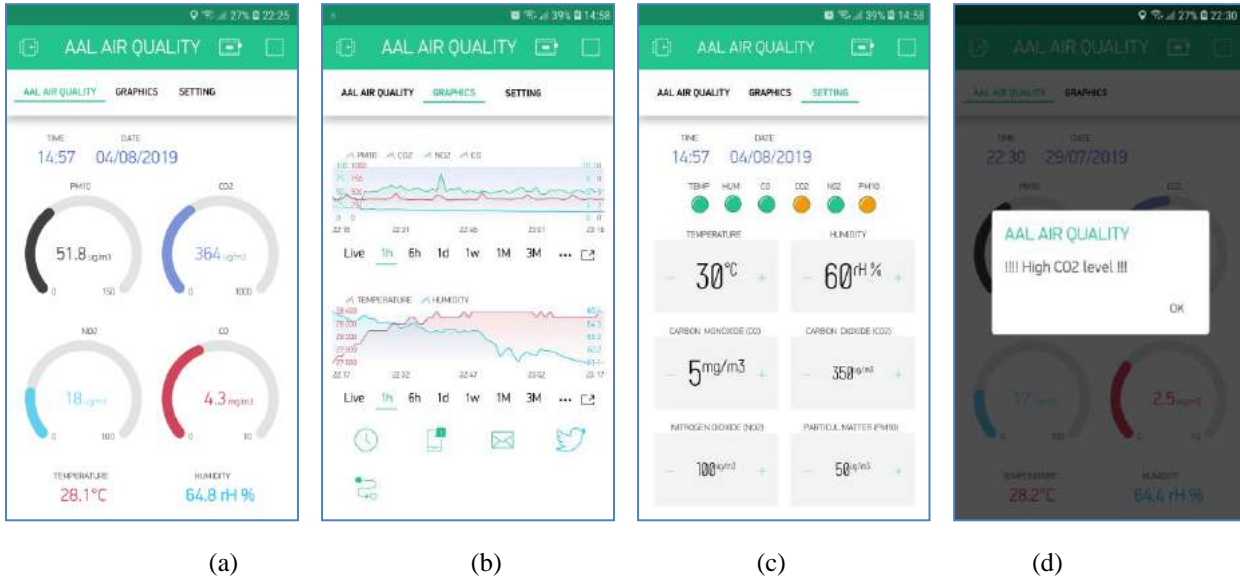


Figure 3. User interface; a) Numerical panel b) Graphical panel, c) Setting panel, d) Notification screen display.

The front panel views of the mobile user interface developed in Figures 3-a, b and c are given. Figure 3-d shows the notification screen for CO₂ gas concentration exceeding the limit value. Blynk is a hardware-agnostic IoT platform with customizable mobile apps, private cloud, device management, analytics, and machine learning. The data is stored on the Blynk cloud server for up to 1 year without deletion and can be easily accessed at any time.

Table 2. Air quality standards of European Environment Agency (EEA, 2018)

Pollutant	Concentration	Averaging period	Permitted exceedences each year
PM ₁₀	50 µg.m ⁻³	24 hours	35
	40 µg.m ⁻³	1 year	n/a
NO ₂	200 µg.m ⁻³	1 hours	18
	40 µg.m ⁻³	1 year	n/a
CO	10 mg.m ⁻³	Maximum daily 8 hour mean	n/a
CO ₂	250-350 ppm	Outside air	Normal level
	350-1000 ppm	Indoor air	Acceptable level

Table 2 shows the air quality standards set by the EEA. For PM₁₀, the 24-hour average value is 50 µg.m⁻³, the annual average value is 40 µg.m⁻³ and the permissible annual number of exceeds is 35. The hourly average value for NO₂ is 200 µg.m⁻³, the annual average value is 40 µg.m⁻³ and the permissible annual number of exceeds is 18. It is recommended that the 8-hour average for CO does not exceed 10 mg.m⁻³ and 1000 ppm for CO₂.

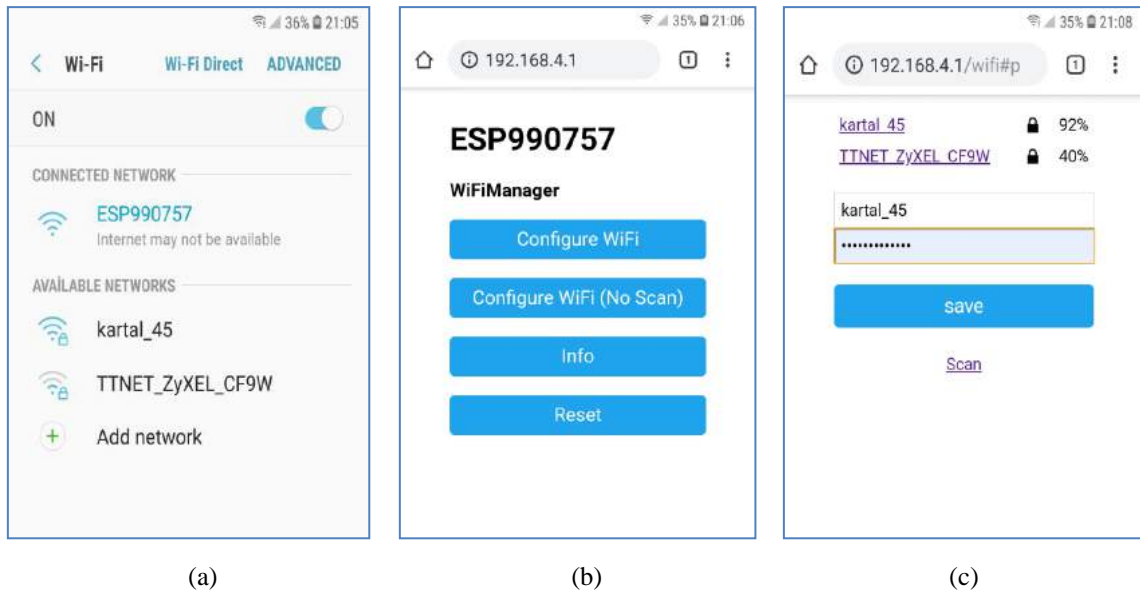


Figure 4. WiFi configuration of AAL system.

Figure 4 shows the Wifi configuration settings for the AAL system. When the ESP32 module operates, it is shown in the list of wireless networks as ESP990757 as shown in Figure 4-a. After connecting to this network, enter "192.168.4.1" in the address bar and switch to "Wifi Manger" page shown in Figure 4-b. When you enter the "Configure Wifi" tab, the list of "Wireless Networks" shown in Figure 4-c is displayed. By selecting the network to be connected from this list, the "user name" and "password" of the network are entered and connection to the wireless network is made. After this connection is made, the ESP32 microcontroller checks the wireless network connection at intervals of 10 seconds, and in case of a disconnection, re-connects to the wireless network using the recorded network information.

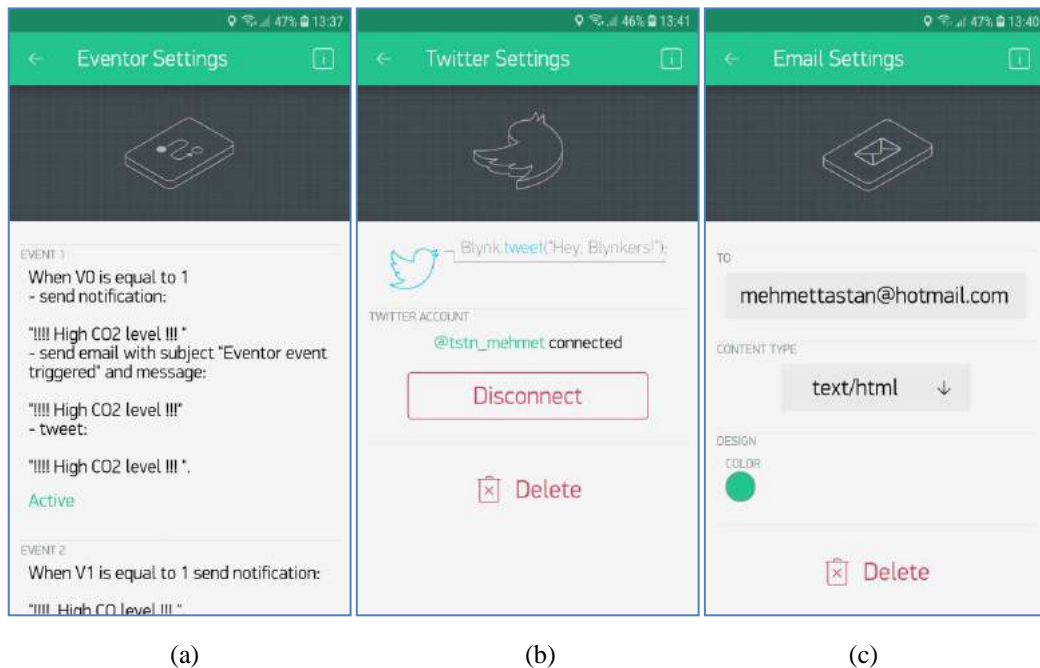


Figure 5. a) Eventor, b) Twitter and c) email notification configurations of Blynk application.

Figure 5 shows the configuration settings of the notifications for the Blynk application, an IoT platform. Figure 5-a shows the settings for the notifications received via the mobile phone. The alarm is triggered in the Blynk application for the virtual pin value "V0=1" sent from the controller. Then, the display shows "!!!! High CO₂ level !!!!" message is written. Figure 5-b shows the twitter account and Figure 5-c shows the e-mail account settings.

3. Results and Discussion

In the IoT-based AAL system, air quality measurements are sent to the cloud server in 1 minute intervals. There is no air purification system in the household where the measurements are taken. The ventilation of the indoor environment is carried out by natural means by manually opening the doors and windows. In Figure 6,7 and 8, weekly change graphs of climate parameters and gas concentrations are given.

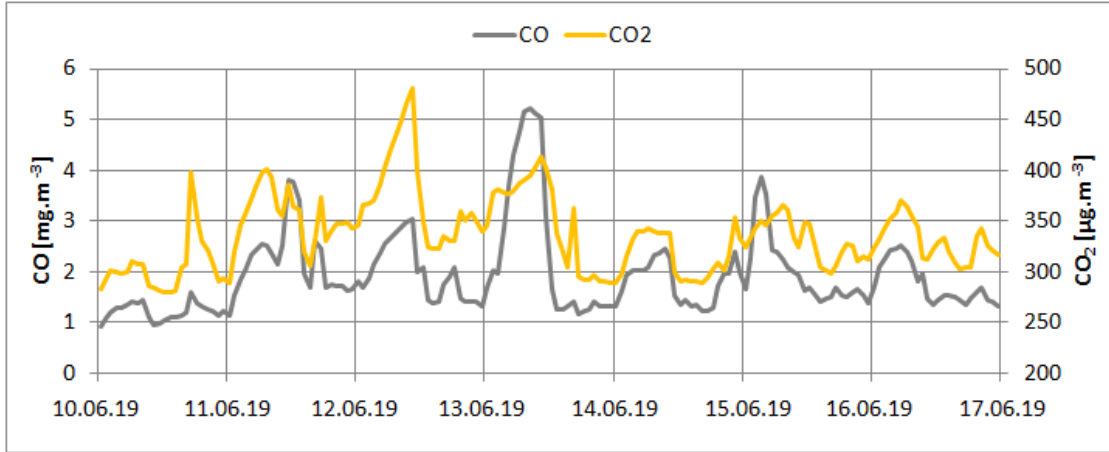


Figure 6. Weekly CO-CO₂ change graph.

Figure 6 shows the weekly change graph of CO-CO₂. When the graph of CO is examined, it is seen that the concentration value varies between 0.93-5.23 mg.m⁻³. When the graph of CO₂ is examined, it is seen that the concentration of this harmful gas varies between 280.2-480.6 µg.m⁻³ on a weekly basis. It was observed that the concentration values of both gases reached maximum values during the night hours and decreased due to the ventilation during the day.

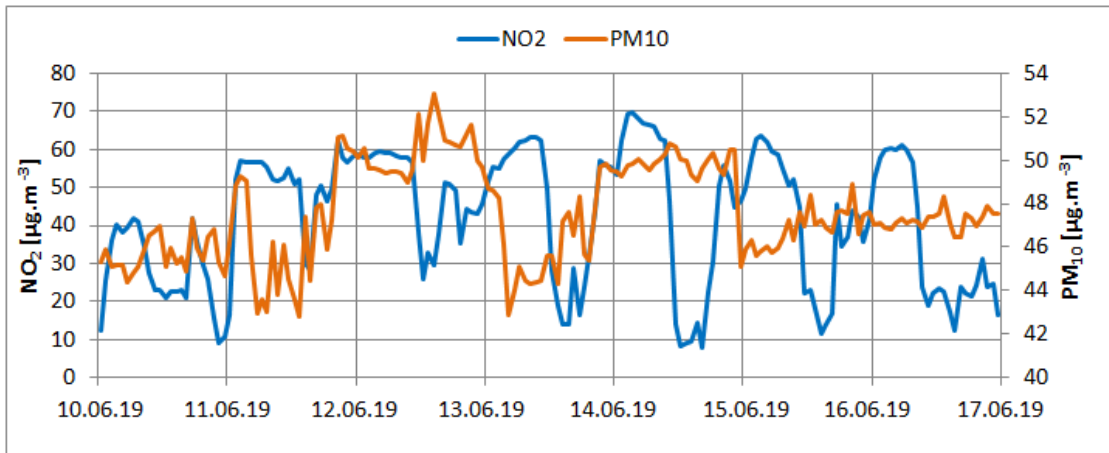


Figure 7. Weekly NO₂-PM₁₀ change graph.

Figure 7 shows the weekly change graph of NO₂ and PM₁₀. When the one-week change is examined, it is seen that NO₂ value varies between maximum 69.9µg.m⁻³ and minimum 7.8 µg.m⁻³ values in this period. According to the 7-day change graph of PM₁₀, particulate matter showed changes between 42.8-53 mg.m⁻³.

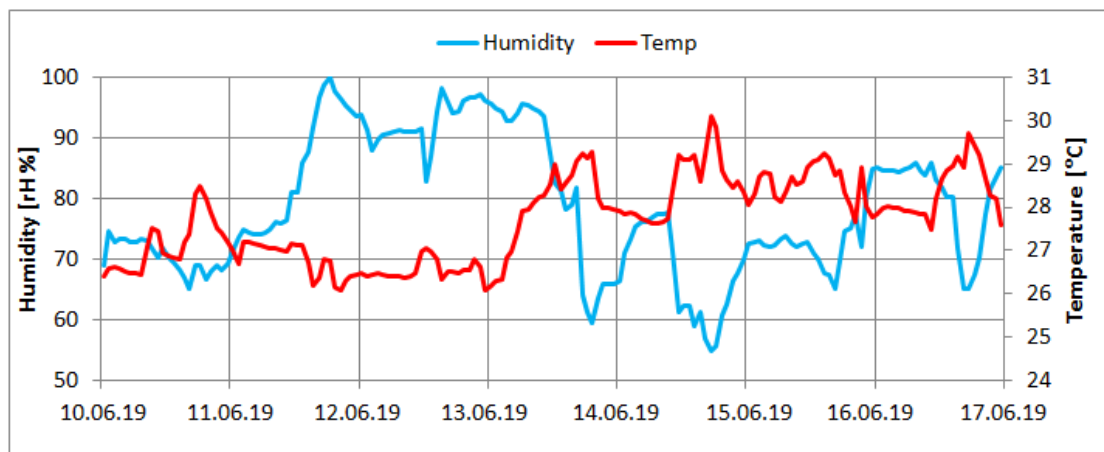


Figure 8. Weekly Temperature-Humidity change graph.

Figure 8 shows the weekly change graph of indoor climate parameters. One-week temperature and humidity change graph shows that the temperature varies between 26.1-30.1°C and the humidity varies between 55.1-99.9 %. When all graphs are examined, it is seen that the indoor CO, CO₂ and NO₂ concentrations decrease rapidly as a result of natural ventilation by opening windows and doors in the morning. As a result of natural ventilation performed on 13.06.2019, CO concentration decreased from 5.23 mg.m⁻³ to 1.36 mg.m⁻³, NO₂ concentration decreased from 62 µg.m⁻³ to 16 µg.m⁻³ and CO₂ concentration from 420 µg.m⁻³ to 301 µg.m⁻³. Increased gas concentrations in closed and unventilated environment for a long time resulted in a 74% decrease in CO, 75 % in NO₂ and 28 % in CO₂ as a result of natural ventilation. When the results are evaluated, it is seen that indoor air quality changes according to individual activities in the household. However, the natural ventilation process through the notifications sent to the users through the AAL system has caused significant increases in indoor air quality.

4. Conclusion

In this study, an AAL system was proposed to create a healthy living environment in smart houses which are part of smart cities. The proposed AAL system provides a complete wireless solution consisting of a mobile application that includes data collection hardware, data consultancy and notifications, especially to protect children and elderly individuals from indoor pollutants. The proposed low-cost IoT-based AAL system monitors climate parameters such as CO, NO₂ and CO₂ gas concentrations, particulate matter PM₁₀, and temperature-humidity in real time, causing indoor air pollution. This system incorporates four sensors, but other sensors can be added for specific parameter monitoring. The AAL system informs users about the level of pollution through the mobile application. If the threshold values for pollution levels are exceeded, the application sends notifications to them. In this way, users can minimize the exposure time to polluted air and take measures to reduce the pollution level as soon as possible. Indoor air quality is known to vary depending on the daily activities of household members such as sleeping, cooking and cleaning.

Low air quality is undoubtedly an important parameter that directly affects our health. Even simple measures such as opening only doors and windows to reduce the concentration of harmful gases in the environment can significantly improve indoor air quality. This study clearly demonstrated this situation. The results showed that the AAL system has a feature that can contribute to a healthier living environment. Compared to other systems, the proposed AAL system has many advantages such as low cost, open source technologies, easy installation and easy configuration. However, in many AAL systems, there are still many open issues such as scalability, quality of service issues, security and privacy. Furthermore, further testing is needed to improve the calibration and accuracy of the proposed AAL system. The proposed AAL system has an effect that can increase the air quality awareness of individuals, especially in homes where elderly and children live. The AAL system will cause households to improve their ventilation habits and contribute to a healthier living environment. As a result, AAL and IoT may be the key to solving the independence problems of older adults. Combined with smart homes, smartphones, wearable technology and IoT technologies, AAL systems offer many opportunities to solve problems related to emergencies, disabilities and diseases.

References

- Air quality in Europe, 2018 report, European Environment Agency <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018/download>, (accessed date, 04.06.2019).
- Benammar, M., Abdaoui, A., Ahmad, S., Touati, F., & Kadri, A. (2018). A modular IoT platform for real-time indoor air quality monitoring. *Sensors*, 18(2), 581.
- Bianchi, V., Bassoli, M., Lombardo, G., Fornacciari, P., Mordonini, M., & De Munari, I. (2019). IoT Wearable Sensor and Deep Learning: an Integrated Approach for Personalized Human Activity Recognition in a Smart Home Environment. *IEEE Internet of Things Journal*.
- Bröring, A., Schmid, S., Schindhelm, C. K., Khelil, A., Kabisch, S., Kramer, D., López, E. (2017). Enabling IoT ecosystems through platform interoperability. *IEEE software*, 34(1), 54-61.
- Cho, H. (2017). An Air Quality and Event Detection System with Life Logging for Monitoring Household Environments. In *Smart Sensors at the IoT Frontier* (pp. 251-270). Springer, Cham.
- Darwish, M., Senn, E., Lohr, C., & Kermarrec, Y. (2014). A comparison between ambient assisted living systems. In *International Conference on Smart Homes and Health Telematics* (pp. 231-237). Springer, Cham.
- ESP32 Series Microcontrollers, Version 3.1 Espressif Systems, https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf, (accessed date, 04.06.2019).
- Fioccola, G. B., Sommese, R., Tufano, I., Canonico, R., & Ventre, G. (2016). Polluino: An efficient cloud-based management of IoT devices for air quality monitoring. In *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)* (pp. 1-6). IEEE.
- Gupta, R., & Singh, K. K. (2018). IOT Door Monitoring System using Android Application. *Trends in Opto-Electro and Optical Communications*, 7(3), 21-24.
- Harper, R. (Ed.). 2006. *Inside the smart home*. Springer Science & Business Media.
- Hassan, M., Bermak, A., Ali, A. A. S., & Amira, A. (2015). Gas identification with spike codes in wireless electronic nose: A potential application for smart green buildings. In *2015 SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys)* (pp. 457-462). IEEE.
- Keswani, B., Mohapatra, A. G., Mohanty, A., Khanna, A., Rodrigues, J. J., Gupta, D., & de Albuquerque, V. H. C. (2019). Adapting weather conditions based IoT enabled smart irrigation technique in precision agriculture mechanisms. *Neural Computing and Applications*, 31(1), 277-292.
- Kulkarni, A., & Mukhopadhyay, D. (2018). Internet of Things Based Weather Forecast Monitoring System. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 9(3), 555-557.
- Lynggaard, P., & Skouby, K. E. (2016). Complex IoT Systems as Enablers for Smart Homes in a Smart City Vision. *Sensors*, 16(11), 1840.
- Makhlouf, A., Boudouane, I., Saadia, N., & Cherif, A. R. (2019). Ambient assistance service for fall and heart problem detection. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(4), 1527-1546.
- Seguel, J. M., Merrill, R., Seguel, D., & Campagna, A. C. (2017). Indoor air quality. *American journal of lifestyle medicine*, 11(4), 284-295.
- Taştan, M. (2019). Internet of Things based Smart Energy Management for Smart Home. *KSII Transactions on Internet & Information Systems*, 13(6).
- Taştan, M., Gokozan H. (2019). Real-Time Monitoring of Indoor Air Quality with Internet of Things Based E-nose. *Applied Sciences*, 9(16), 3435.
- Taştan, M. 2018. IoT Based Wearable Smart Health Monitoring System. *Celal Bayar University Journal of Science*, 14(3), 343-350.
- WHO. Air Pollution Levels Rising in Many of the World's Poorest. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-rising/en/#.WhOPG9ANIBk.mendeley> (accessed date, 06.06.2019).



PEG Assisted Hydrothermal Synthesis of Hexagonal WO₃ Nanoparticles

Halit Eren Figen¹

¹ Yildiz Technical University, Chemical & Metallurgical Engineering Faculty, Chemical Engineering Department, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0003-1330-2852)

(İlk Geliş Tarihi 15 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 31 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.605611)

ATIF/REFERENCE: Figen, H. E. (2019). PEG Assisted Hydrothermal Synthesis of Hexagonal WO₃ Nanoparticles. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 969-976.

Abstract

Tungsten oxide (WO₃) displays superior semiconductor properties which renders it attractive for utilization in the electrochromic devices, gas sensors and photocatalytic applications. Preparation of WO₃ nanostructures including particles, plates, wires, rods, tube and spheres with controlled morphology and crystal structure for the future application is gaining attention. It has been known that crystal structure and size, specific surface area, pore volume and particle size distribution of WO₃ have a significant effect on chemical activity. As a result, it is necessary to investigate systematically the effects of preparing conditions in synthesis of well-controlled morphology and crystal structure. In the present study, hexagonal WO₃ nano sized powders have been synthesized via hydrothermal method by controlling the weight ratio of substrate and addition of poly ethylene glycol (MW: 1500, PEG-1500) as surfactant agent. The characterization of WO₃ samples is complemented with N₂ sorption, particle morphology and crystalline properties are investigated by volumetric surface analysis, scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). It has been shown that WO₃ samples can be achieved by adding or not PEG-1500 as the agent in hydrothermal process at 200 °C for 24 h under well controlled conditions. The growth direction of the tungsten oxide nanostructures is determined along (002) axis with 63.02 nm crystal size. SEM analyses results indicate that by addition of PEG-1500, hexagonal and mesoporous nanoparticles of WO₃ are formed instead of rods. Moreover, most effective reduction temperatures of the final WO₃ nano particles under hydrogen gas have been studied by using temperature programmed reduction (TPR). Characteristics of nano-sized metallic tungsten (W) obtained after the reduction process are investigated by XRD and SEM techniques.

Keywords: Tungsten oxide, Hexagonal, Mesoporous, H₂-TPR

Hegzagonal WO₃ nano parçacıklarının PEG Destekli Hidrotermal Sentezi

Öz

Üstün yarı iletken özelliklere sahip olan tungsten oksit (WO₃) elektrokromik cihazlarda, gaz sensörlerinde ve fotokatalitik uygulamalarda ile dikkat çekmektedir. Gelecekteki kullanım alanları için kontrollü morfoloji ve kristal yapıya sahip parçacık, levha, tel, çubuk, tüp ve küre olmak üzere WO₃ nano yapısının hazırlanması önemlidir. Kristal yapısı ve boyutunun, spesifik gözenek alanı, gözenek hacmi ve parçacık boyut dağılımı WO₃'ün kimyasal aktivitesi üzerine önemli etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Sonuç olarak, iyi kontrol edilmiş bir morfolojide ve kristal yapıda sentezlenebilmesi için üretim koşullarının etkilerinin sistematik olarak araştırılması

¹ Corresponding Author: Yildiz Technical University, Chemical & Metallurgical Engineering Faculty, Chemical Engineering Department, Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0003-1330-2852, hfigen@yildiz.edu.tr, erenfigen@gmail.com

gerekmektedir. Bu çalışmada, hegzagonal WO₃ nano boyutlu parçacıklar, substrat içeriğinin ağırlık oranı ve poli etilen glikol (MA:1500, PEG-1500) yüzey aktif kimyasalının eklenmesi ile kontrollü bir hidrotermal yöntem ile sentezlenmiştir. N₂ sorpsiyon, partikül morfolojisi ve kristal yapı özellikleri ile tanımlanan WO₃ örneklerinin karakteristiği; hacimsel yüzey analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) ile incelenmiştir. WO₃ örnekleri iyi kontrol edilen koşullar altında 200° C ve 24 saat boyunca hidrotermal yöntem ile PEG-1500'ün ajan olarak eklenmesi veya eklenmemesi koşullarında üretildiği gösterilmiştir. Tungsten oksit nano yapılarının 63.02 nm kristal boyutu ile (002) eksenini boyunca büyüme gerçekleştiği belirlenmiştir. SEM analizi sonuçlarına göre çubuk yapısı yerine hegzagonal ve mezopor WO₃ nano partiküllerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Bununla beraber son ürün WO₃ nano partiküllerini hidrojen gazı altındaki etkili indirgenme sıcaklıkları sıcaklık programlı indirme (TPR) analizi ile incelenmiştir. İndirgenme sonrası elde edilen nano boyutlu metalik tungsten (W) özellikleri ise XRD ve SEM teknikleri ile araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tungsten oksit, Hegzagonal, Mezopor, H₂-TPR

1. Introduction

In the recent years nano structured WO₃ has been investigated as a potential material of electrochromic and optic devices, gas sensors, and catalysts (Huirache-Acuña, Paraguay-Delgado, Albiter, Lara-Romero, & Martínez-Sánchez, 2009; Abe, Takami, Murakami, & Ohtani, 2008). Nano sized WO₃ has been synthesized by different preparation methods such as electro spinning, annealing, physical vapor deposition, pyrolysis, sol-gel (Nogueira, Cavaleiro, Rocha, Trindade, & de Jesus, 2004; Lu, Liu, Zhang, Wang, & Wei, 2006; Díaz, Pinzón, & Méndez, 2009; Mwakikunga, Sideras-Haddad, Forbes, & Arendse, 2008; Li, Bando, Golberg, & Kurashima, 2003). Besides these methods, hydrothermal method is proposed for obtaining WO₃ at nano scale as a much more economical method not requiring expensive experimental set up compared to the above methods. However, this method requires long reaction times ranging from several hours to several days in order to obtain oxide structure. WO₃ exhibits polymorphism, and hexagonal and monoclinic phases of WO₃ attract more attention for potential application. Moreover, most of the electrochromic applications of WO₃ have been focused on amorphous films. Colored state amorphous WO₃ films show 50% transmittance in the visible light region which is not enough for practical applications (Meda, Breitkopf, Haas, & Kirss, 2002). The morphology and the crystalline properties of WO₃ can be controlled by chamber pressure and the oxygen content (Zheng, Zhang, & Guo, 2013).

Therefore it is necessary to develop one dimensional nano structures for electrochemical devices (Lu, Hon, Kuan, & Leu, 2014), which possess exceptional physicochemical properties depending on their shape and size (Boudiba et al, 2013). Hexagonal tungsten oxide shows a unique tunnel structure and it can easily change from colorless to dark blue under electrical voltage (Zhang, Wang, Xia, Gu, & Tu, 2011). The hexagonal phase, commonly obtained via hydrothermal application methods is more suitable for gas sensor applications, while monoclinic phase generally obtained at room temperature due to its thermodynamic stability, is more suitable for photocatalytic application (Peng, Ke, Xiao, Wang, Hu, & Zan, 2012 ; Qu, & Wlodarski, 2000; Martínez, Martínez-De La Cruz, & Cuéllar, 2011; Sánchez-Martínez, Martínez-De La Cruz, & López-Cuéllar, 2013). For this reason, researchers have focused on various methods in order to prepare WO₃ in well-known crystalline structures (Hernandez-Uresti, Sánchez-Martínez, Martínez-De La Cruz, Sepúlveda-Guzmán, & Torres-Martínez, 2014). It was reported synthesis of WO₃ nano rods using the simple hydrothermal method. WO₃ nano rods can be synthesized large quantities even at low temperatures conditions (Therese, Li, Kolb, & Tremel, 2005). It was prepared mesoporous WO₃ nano structures with hexagonal phase by using a two step-hydrothermal method. They mentioned that formation of WO₃ depended on the acidic medium inside the autoclave (Huirache-Acuña et al., 2009). Hydrothermal synthesis of hexagonal WO₃ from ammonium para tungstate was also carried out. Their phenomena indicated that hydrothermal treatment favors to formation of hexagonal WO₃ (Li, Cao, Wang, Yang, & Rao, 2006). It was synthesized monoclinic WO₃ from sodium tungstate at 300°C in 3 steps by a low temperature and low pressure hydrothermal process (Ahmadi, Younesi, & Guinel, 2014).

A uniform WO₃ nanorods for electrochromic devices was prepared by hydrothermal synthesis. The effects of various pH values and the addition of NaCl on the preparation of nanorods were investigated. It was showed that NaCl was a good capping agent for controlling the shape of WO₃ nanostructures and it was recommended to synthesize the crystalline hexagonal WO₃ nanorods at pH 2.0 with 5.4 wt % NaCl content (Lu, Hon, Kuan, & Leu, 2014). Modified the hydrothermal process by assisting with microwave to synthesize WO₃ nanoparticles with both hexagonal and monoclinic structures were also reported. The process was conducted without the use of any additives and was followed by different thermal treatments. It was show that the highest specific surface area was obtained compared to commercial WO₃ (Hernandez-Uresti et al., 2014). PEG is a non-ionic polymeric surfactants and also has hydrophobic –CH₂–CH₂– and hydrophilic –O– in the long chains. Thus, PEG dissolves very well in water and ensures complete elongation of the polymer chains. The oxygen atom in the PEG has the ability to coordinate with the metal ions. This extended sequence of the polymer chain provides a new organization of metal atoms along the backbone of the polymer, which provides a variety of assembly paths for 1D growth of final products (Shi, Li, Yang, Chen, Yuan, Zhang, & Sun 2007; Feng, Zhang, Guo, & Wang 2010).

In the present work, hexagonal mesoporous WO₃ nanoparticles were prepared via poly ethylene glycol (MW: 1500, PEG-1500) assisted hydrothermal method. The samples were characterized, and their H₂ reducing properties were evaluated for formation of metallic tungsten (W). It was found that PEG-1500 can influence the morphology of the WO₃ during hydrothermal conditions. The nano scaled WO₃ particles have a potential application as catalysts, gas sensors, and also raw material for nano sized powder metallic W synthesis. To best of our knowledge, systematically investigated of WO₃ nanoparticles synthesis in which ammonium tungsten oxide hydrate as a precursors with PEG-1500 surfactant agent and especially its hydrogen reduction properties has not been reported before.

2. Experimental

WO₃ nano particles were synthesized by using PEG assisted hydrothermal method. All the chemicals were of analytical grade and were used directly. In the present study the precursor was firstly prepared by ammonium tungsten oxide hydrate ((NH₄)₆W₁₂O₃₉·xH₂O) solution (0.02 M) mixing with ammonium nitrate (NH₄NO₃) and/or ammonium sulfate (NH₄SO₂) for controlling the formation of WO₃ particles. PEG-1500 per tungsten ion was added to precursor solution for controlling particles formation. The pre solutions with and without PEG-1500 were transferred into 100 ml Teflon-lined stainless steel autoclave. Hydrothermal reaction was performed at 200°C for 24 hours. After the reaction was completed, the resulting solid was separated by filtering, was washed with distilled water, and ethanol for several times in order to remove the ions, and then finally was dried at 150°C in air for 15 h.

The crystal structure of the samples were characterized by X-ray diffractometer (XRD, Philips Panalytical X'Pert-Pro, CuK α radiation). The surface morphology and microstructure of the samples examined by scanning electron microscope (SEM, Zeiss, EVO LS 10). The sorption isotherms were obtained by the adsorption of N₂ at 77 K in a Micromeritics ASAP 2020 Physisorption Instrument. The specific surface area and pore volume of the samples were calculated by the Brunauer–Emmett–Teller (BET) and Barret-Joyner-Halenda (BJH) methods, respectively. A hydrogen temperature programmed reduction (TPR) experiment was also carried out in a stainless steel reactor coupled with the quadrupole mass spectrometer (Hiden Analytical QGA). A 200 mg final WO₃ sample was loaded into reactor and heated up to 1000 °C with 3°C/min heating rate and a reducing gas mixture (5% H₂ in nitrogen, total flow rate 400 ml.min⁻¹) was supplied. In the present study five different WO₃ samples with different physicochemical properties were obtained as a result of the precursor composition (Table 1). XRD pattern, N₂ sorption graphs, SEM micrographs were analyzed and discussed in detail.

Table 1. Weight ratio of substrates for hydrothermal synthesis

Sample	(NH ₄) ₆ W ₁₂ O ₃₉ ·xH ₂ O	NH ₄ SO ₂	NH ₄ NO ₃	PEG-1500 *
W-1	1.0	1.0	-	-
W-2	1.0	0.5	0.5	-
W-3	1.0	0.5	0.5	0.75
W-4	1.0	1.0	-	0.75
W-5	1.0	-	1.0	0.75

* per amount of total tungsten content.

3. Results and Discussion

Crystal phases of the products were analyzed and confirmed by XRD technique. Figure 1 shows the XRD patterns obtained for the samples (W1-W5) prepared by hydrothermal method with different weight ratios of substrate. As shown in Fig. 1, sharp diffraction peaks in all the samples associated with the hexagonal phase of WO₃ (JCPDS 01-085-2460) and no other peaks indexed with impurity phases were found. The results indicated that well-crystallized WO₃ samples were successfully synthesized under different substrate ratios. Moreover, crystallite sizes were calculated by Scherrer equation for more intense and representative reflections as (100), (002) and (200) (Table 2).

XRD results indicated that by using different substrate ratios, same WO₃ crystalline phases can be obtained under hydrothermal conditions. However, the intensities of the diffraction peaks are different and (100), (002) and (200) crystal planes are much higher than those of other detected peaks. Evidently, weight ratio of substrate into the precursor solutions plays a key role in controlling the orientation of the synthesized WO₃ powders. The presence of ammonium nitrate in the solutions can affect the direction of planes in the crystal structure. The intensity of the (200) diffraction peak greatly increases when only ammonium sulfate was used in solution suggesting that the WO₃ rods grow along (200) direction according to the patters of W-1 and W-2 samples. Typically in hydrothermal synthesis, precursor solution ingredients and their concentration is related with the H⁺ ions are one of the important parameters onto crystal structure (Zheng, Zhang, & Guo, 2013). Wang et al. underlined that the uniform WO₃ nano rod was formed by controlled H⁺ ions in aqueous solution. H⁺ ions served as one of the reactants and affect the acidity. The acidity of the precursor impacted the crystal growth of WO₃ that include nucleus formation and subsequent growth (Wang, Khoo, Lee, & Ma, 2009). In addition to this, the type of sulfates precursors added into the solution such Rb₂SO₄ and K₂SO₄ have strong impact onto the morphology and crystallite size of WO₃ nanoparticles (Gu, Zhai, Gao, Sheng, Wang, Fu, Ma & Yao, 2006). In hydrothermal process, when mineralizer or auxiliary reagent was not used, only monoclinic WO₃ nanoparticles were formed, while the p-aminobenzoic acid was introduced orthogonal WO₃·0.33H₂O nanorods were obtained (Liu, Su, Yang, & Ma, 2019).

It was determined that by addition of PEG-1500, the intensities of diffraction peaks of (100) plane have gradually weakened. Intensities of the peaks of the (002) plane were improved by degrees and there was no significant change in the peak intensities of the (200) plane. As a result, the W-5 nano particles arrays grew along (002) plane. These results can be confirmed by crystallite sizes determined by Scherrer equation in Table 2 (Huirache-Acuña et al., 2009; Zheng, Zhang, & Guo, 2013; Su, Xiao, Li, Jian, Sun, & Wang, 2010).

Table 2. Crystallite size of hexagonal WO₃ samples

Sample	(hkl)		
	100	002	200
W-1	85.58	63.01	42.33
W-2	41.37	42.32	63.01
W-3	62.17	63.00	42.32
W-4	49.51	63.00	50.65
W-5	49.51	63.02	42.33

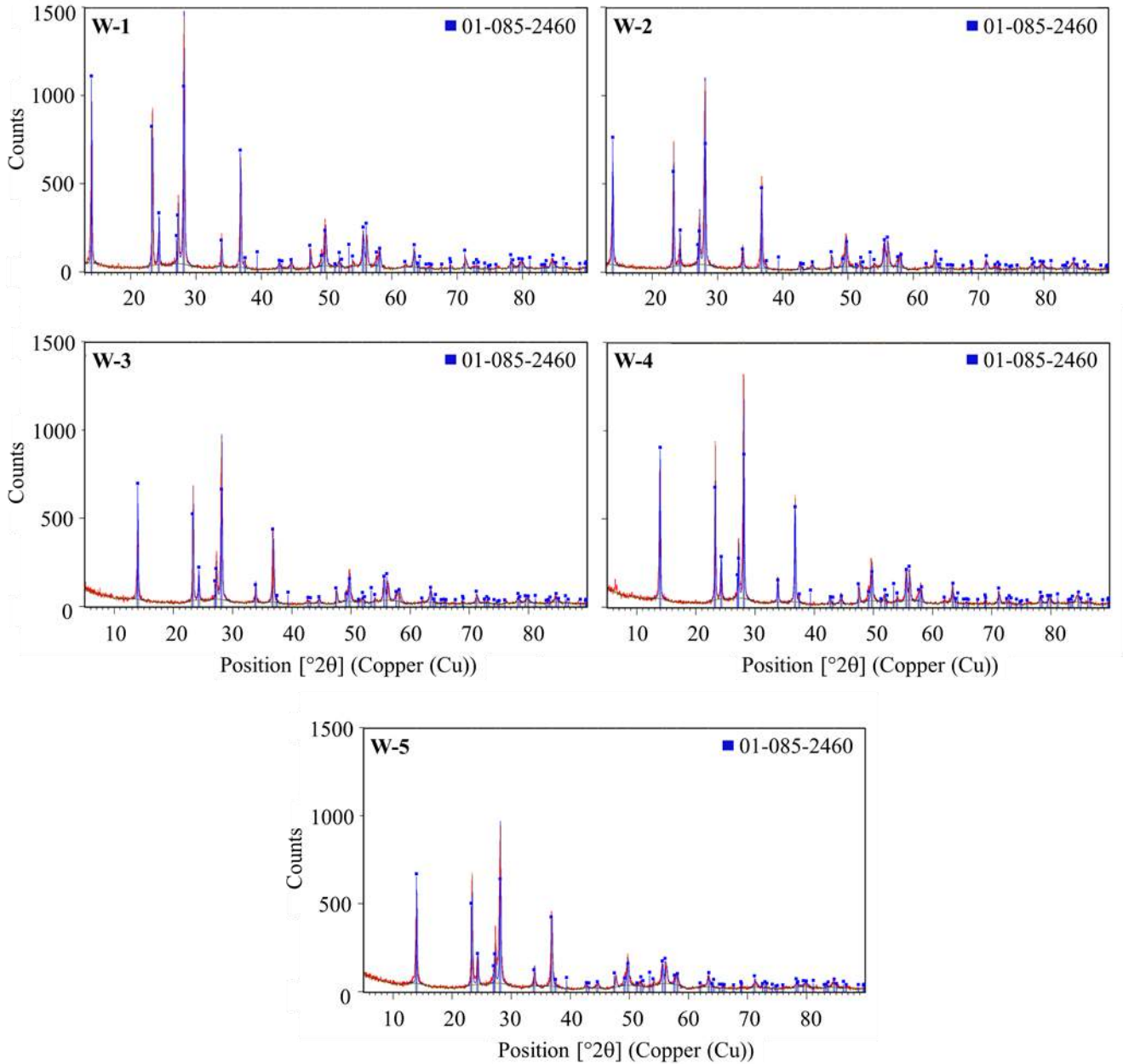


Figure 1. XRD patterns of WO₃ samples synthesized by hydrothermal method

Figure 2 shows the morphology of WO₃ samples. As can be seen from the images, the morphology of WO₃ strongly depended on the substrate ratios in reaction medium, especially in the presence of PEG-1500. The SEM images for the W-1 and W-2 samples, which were synthesized without PEG-1500 addition, showed a rod-flake like morphology. On the other hand, upon the addition of PEG-1500 into the substrate solution, particles shaped in rod-flake like morphology changed into particles having shapes as shown in W-3, W-4 and W-5.

Furthermore, homogeneity in the morphology of the particles were achieved only with the PEG-1500 added ammonium nitrate solution. These samples consist of aggregated particles with irregular shapes due to high surface energy owing to their nanosizes. (Huirache-Acuña et al., 2009). Agglomerates, formed by smaller particles with diameters with sizes of nearly 200 nm were observed in the W-5 powders. It was recommended to eliminate the grain boundaries by sintering to increase the average particle size (Hernandez-Uresti et al., 2014). According to the XRD results, hexagonal WO_3 should exist in the samples. From the SEM images, hexagonal structures were not clearly seen due to resolution, and for further studies, HR-TEM analyses will be performed.

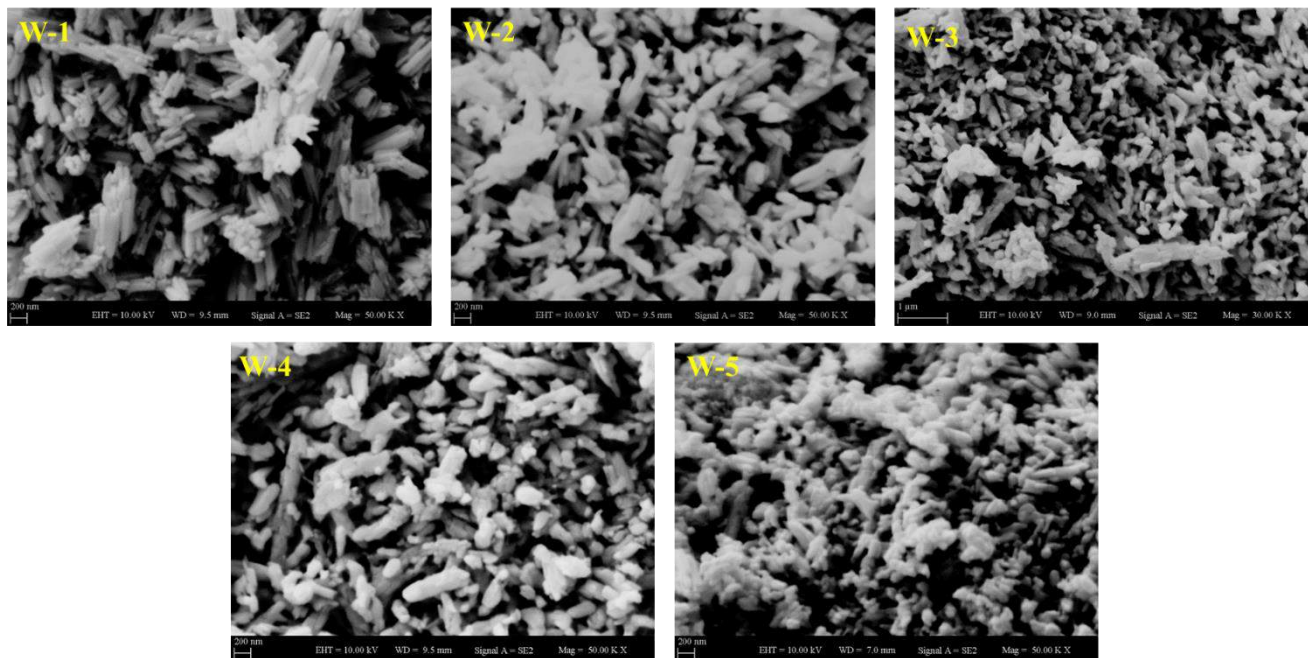


Figure 2. SEM images (X50000) of WO_3 samples synthesized by hydrothermal method

Figure 3 illustrates the ratio of pore volume/ S_{BET} and the insets show the N_2 adsorption–desorption curves of W1-W5 samples. According to the IUPAC Classification, sorption isotherms correspond to type IV. Adsorption and desorption step characteristics show that all the synthesized WO_3 samples are mesoporous. The S_{BET} values of powders were in the order of W-5 ($8.81 \text{ m}^2/\text{g}$) > W-1 ($7.85 \text{ m}^2/\text{g}$) > W-2 ($7.23 \text{ m}^2/\text{g}$) > W-3 ($6.62 \text{ m}^2/\text{g}$) > W-4 ($5.86 \text{ m}^2/\text{g}$). More importantly, it was reported that S_{BET} values and pore properties of powders were related to morphology and they affected the chemical activity of the surface. Pore volume/ S_{BET} ratio at higher values related with smaller crystal size which contributed to chemical activity of the surface. As can be seen, PEG-assisted hydrothermally synthesized mesoporous WO_3 exhibits higher pore volume/ S_{BET} ratio.

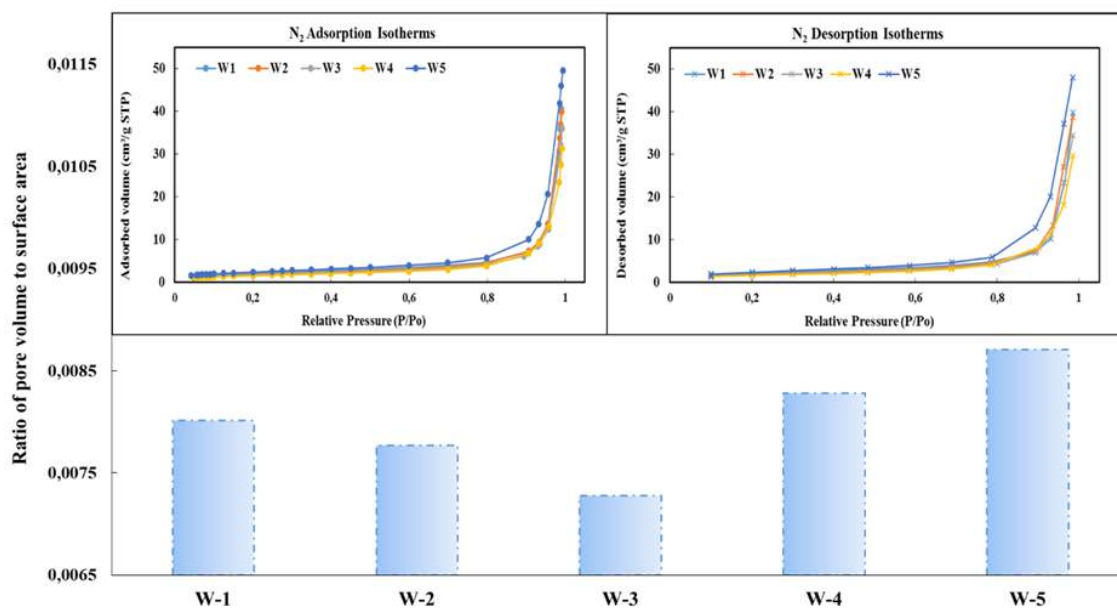


Figure 3. N_2 adsorption and desorption isotherms of WO_3 samples synthesized by hydrothermal method

Our findings suggest that the PEG addition is important for the formation of mesoporous WO_3 nanoparticles with improved properties similar to the results reported in the literature. It was reported the formation and growth of urchin-nanostructures by the addition of PEG. It was mentioned that polycrystalline and uniform microspheres were obtained by PEG addition (Keyson, Volanti, Cavalcante, Simões, Varela, & Longo, 2008). It was investigated PEG assisted CoFe_2O_4 nanoparticle synthesis and adsorption properties. They underlined that PEG addition affected the lattice structure and increased the adsorption capacity of the material. With the addition of PEG, a remarkable decrease of particle size is achieved, and the shape of the particles is spherical with a uniform distribution (Wu, Wang, Li, Khaimanov, Tsidaeva, & Lahoubi, 2016). Investigation of the synthesis and magnetic properties of CoFe_2O_4 nanoparticles by using PEG as surfactant additive was also performed. It was shown that the addition of PEG can elevate the crystallinity of samples and increases the size of product. Also, the value of magnetic saturation increased due to change of the product morphology (Chen, & Gao, 2007). In order to investigate the hydrogen reduction properties, W-5 was selected due to its outstanding properties: a mean particle diameter around 200 nm, 0.087 highest pore volume/surface area ratio and approximately $8.81 \text{ m}^2/\text{g}$ specific surface.

The TPR analysis was used to find hydrogen reduction conditions associated with reduction of WO_3 species to metallic W. Figure 4a shows three main peaks of WO_3 with shoulders at 545°C , at 682°C , and 844°C . 545°C associated with $\text{WO}_3 \rightarrow \text{W}_{20}\text{O}_{58}$, at 682°C corresponding to $\text{W}_{20}\text{O}_{58} \rightarrow \text{WO}_2$, and at 844°C indicated $\text{WO}_2 \rightarrow \text{W}$ (Ghoreishi, Yarmo, Nordin, & Samsudin, 2013). According to TPR results of W-5 sample has undergone reduction at temperature 844°C with nonisothermal reduction procedure. Following reduction, the sample W-5-TPR was also characterized by XRD and SEM. Figure 4.b shows the XRD pattern of W5-TPR compared with W-5 sample. It was clearly seen that WO_3 was totally reduced to cubic W metal (JCPDS: 98-065-3433). In addition to this WO_3 phase was not detected after the reduction step and it can be concluded that reduction behavior follows in three consecutive steps from WO_3 to W. Crystal size of metallic W was also calculated using Scherrer equation and was found 61 nm based on (011) and (112) planes. The morphology of the obtained metallic cubic W are shown in Figure 4.c. The image represents uniformed nano-sized particles with 135 nm average size.

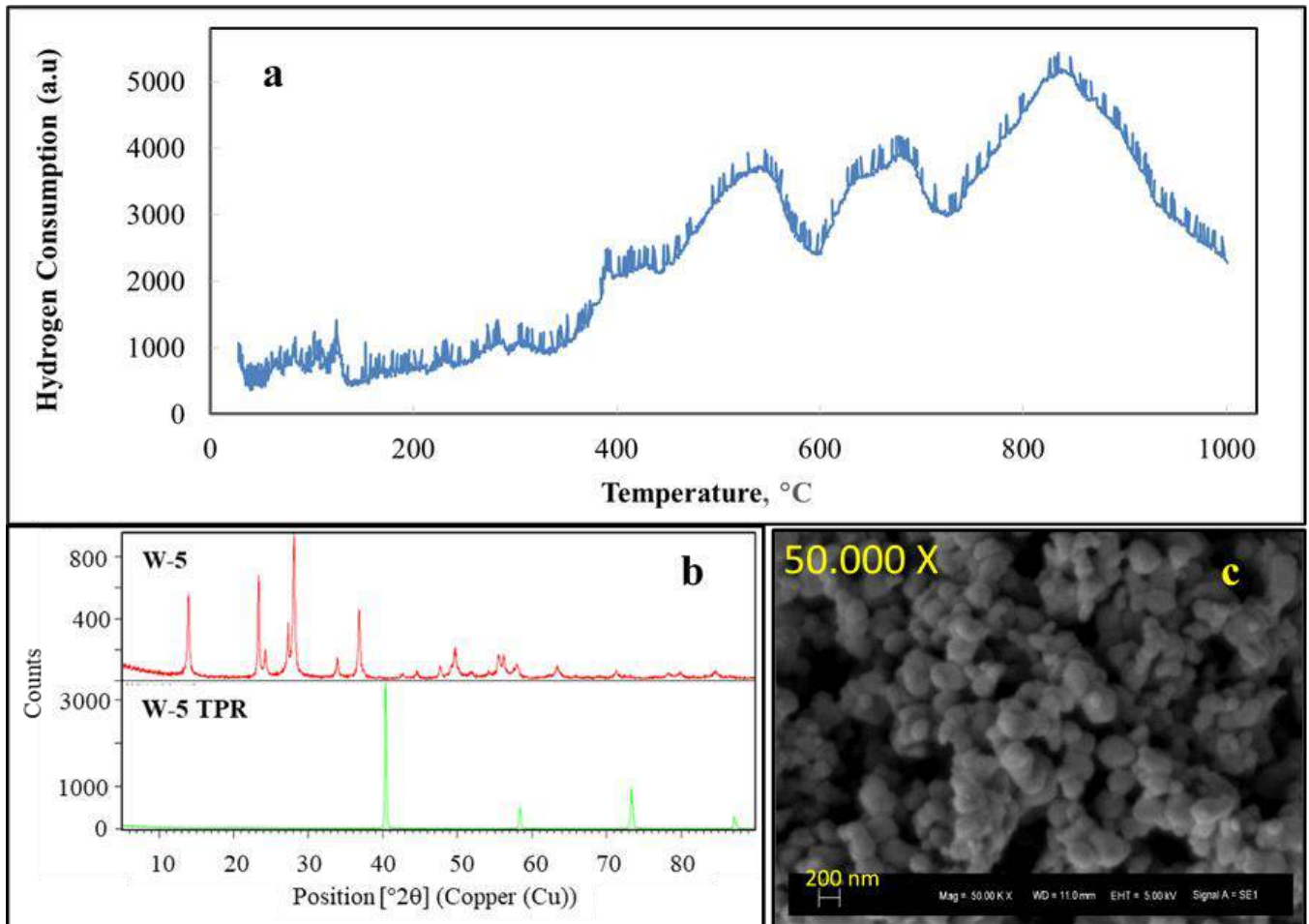


Figure 4. N_2 adsorption and desorption isotherms of WO_3 samples synthesized by hydrothermal method

4. Conclusion

WO₃ nanoparticles with hexagonal phase and mesoporosity were synthesized by PEG assisted hydrothermal method which resulted in nanoparticles with improved surface properties instead of nano rods. It was recommended that to use nitrate precursor instead of sulfate used with ammonium tungsten oxide hydrate as tungsten source at the molar ratio=1:1 assisted by PEG-1500 in hydrothermal method conducted at 200 °C for 24 h. Hexagonal-structured WO₃ was prepared and according to the crystal phase analysis results, it was observed that the growth direction of the tungsten oxide was along (002) with 63.02 nm crystal size. Hexagonal-structured particles exhibited the highest pore volume/S_{BET} ratio (0.0087) related with the highest chemical activity. The obtained WO₃ was completely converted to W phase with found 61 nm crystals at reduction temperature 844 °C under hydrogen atmosphere. These results corroborate the possibility of obtained WO₃ for potential application in metallic W production.

References

- Abe, R., Takami, H., Murakami, N., & Ohtani, B. (2008). Pristine simple oxides as visible light driven photocatalysts: highly efficient decomposition of organic compounds over platinum-loaded tungsten oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 130(25), 7780-7781.
- Ahmadi, M., Younesi, R., & Guinel, M. J. (2014). Synthesis of tungsten oxide nanoparticles using a hydrothermal method at ambient pressure. *Journal of Materials Research*, 29(13), 1424-1430.
- Boudiba, A., Zhang, C., Umek, P., Bittencourt, C., Snyders, R., Olivier, M. G., & Debliquy, M. (2013). Sensitive and rapid hydrogen sensors based on Pd-WO₃ thick films with different morphologies. *International journal of hydrogen energy*, 38(5), 2565-2577.
- Chen, Z., & Gao, L. (2007). Synthesis and magnetic properties of CoFe₂O₄ nanoparticles by using PEG as surfactant additive. *Materials Science and Engineering: B*, 141(1-2), 82-86.
- Díaz, M. A., Pinzón, C. V., & Méndez, I. R. (2009). WO₃ thin films by sol-gel: structural and morphological properties. *Engineering*, 13(3), 29-38.
- Feng, Y., Zhang, M., Guo, M., & Wang, X. (2010). Studies on the PEG-assisted hydrothermal synthesis and growth mechanism of ZnO microrod and mesoporous microsphere arrays on the substrate. *Crystal growth & design*, 10(4), 1500-1507.
- Ghoreishi, K. B., Yarmo, M. A., Nordin, N. M., & Samsudin, M. W. (2013). Enhanced Catalyst Activity of Using Polypyrrole as Support for Acidic Esterification of Glycerol with Acetic Acid. *Journal of Chemistry*, 2013.
- Gu, Z., Zhai, T., Gao, B., Sheng, X., Wang, Y., Fu, H., Ma, Y., & Yao, J. (2006). Controllable assembly of WO₃ nanorods/nanowires into hierarchical nanostructures. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110(47), 23829-23836.
- Hernandez-Uresti, D. B., Sánchez-Martínez, D., Martínez-De La Cruz, A., Sepúlveda-Guzmán, S., & Torres-Martínez, L. M. (2014). Characterization and photocatalytic properties of hexagonal and monoclinic WO₃ prepared via microwave-assisted hydrothermal synthesis. *Ceramics International*, 40(3), 4767-4775.
- Huirache-Acuña, R., Paraguay-Delgado, F., Albitier, M. A., Lara-Romero, J., & Martínez-Sánchez, R. (2009). Synthesis and characterization of WO₃ nanostructures prepared by an aged-hydrothermal method. *Materials characterization*, 60(9), 932-937.
- Keyson, D., Volanti, D. P., Cavalcante, L. S., Simões, A. Z., Varela, J. A., & Longo, E. (2008). CuO urchin-nanostructures synthesized from a domestic hydrothermal microwave method. *Materials Research Bulletin*, 43(3), 771-775.
- Li, X., Cao, X., Wang, W., Yang, Y., & Rao, G. (2006). Preparation and characterization of WO₃ from ammonium paratungstate via hydrothermal method. *Frontiers of Chemistry in China*, 1(4), 389-392.
- Liu, X., Su, X., Yang, C., & Ma, K. (2019). Hydrothermal Synthesis of WO₃.0.33H₂O Nanorod Bundles as a Highly Sensitive Cyclohexene Sensor. *Sensors*, 19(5), 1257.
- Li, Y. B., Bando, Y., Golberg, D., & Kurashima, K. (2003). WO₃ nanorods/nanobelts synthesized via physical vapor deposition process. *Chemical Physics Letters*, 367(1-2), 214-218.
- Lu, C. H., Hon, M. H., Kuan, C. Y., & Leu, C. (2014). Preparation of WO₃ nanorods by a hydrothermal method for electrochromic device. *Japanese Journal of Applied Physics*, 53(6S), 06JG08.
- Lu, X., Liu, X., Zhang, W., Wang, C., & Wei, Y. (2006). Large-scale synthesis of tungsten oxide nanofibers by electrospinning. *Journal of colloid and interface science*, 298(2), 996-999.
- Martínez, D. S., Martínez-De La Cruz, A., & Cuéllar, E. L. (2011). Photocatalytic properties of WO₃ nanoparticles obtained by precipitation in presence of urea as complexing agent. *Applied Catalysis A: General*, 398(1-2), 179-186.
- Meda, L., Breitkopf, R. C., Haas, T. E., & Kirss, R. U. (2002). Investigation of electrochromic properties of nanocrystalline tungsten oxide thin film. *Thin Solid Films*, 402(1-2), 126-130.
- Mwakikunga, B. W., Sideras-Haddad, E., Forbes, A., & Arendse, C. (2008). Raman spectroscopy of WO₃ nano-wires and thermo-chromism study of VO₂ belts produced by ultrasonic spray and laser pyrolysis techniques. *physica status solidi (a)*, 205(1), 150-154.
- Nogueira, H. I., Cavaleiro, A. M., Rocha, J., Trindade, T., & de Jesus, J. D. P. (2004). Synthesis and characterization of tungsten trioxide powders prepared from tungstic acids. *Materials Research Bulletin*, 39(4-5), 683-693.
- Peng, T., Ke, D., Xiao, J., Wang, L., Hu, J., & Zan, L. (2012). Hexagonal phase WO₃ nanorods: Hydrothermal preparation, formation mechanism and its photocatalytic O₂ production under visible-light irradiation. *Journal of Solid State Chemistry*, 194, 250-256.
- Qu, W., & Wlodarski, W. (2000). A thin-film sensing element for ozone, humidity and temperature. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 64(1-3), 42-48.
- Sánchez-Martínez, D., Martínez-De La Cruz, A., & López-Cuéllar, E. (2013). Synthesis of WO₃ nanoparticles by citric acid-assisted precipitation and evaluation of their photocatalytic properties. *Materials Research Bulletin*, 48(2), 691-697.

- Shi, X., Li, M., Yang, H., Chen, S., Yuan, L., Zhang, K., & Sun, J. (2007). PEG-300 assisted hydrothermal synthesis of $4\text{ZnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ nanorods. *Materials Research Bulletin*, 42(9), 1649-1656.
- Su, X., Xiao, F., Li, Y., Jian, J., Sun, Q., & Wang, J. (2010). Synthesis of uniform WO_3 square nanoplates via an organic acid-assisted hydrothermal process. *Materials Letters*, 64(10), 1232-1234.
- Therese, H. A., Li, J., Kolb, U., & Tremel, W. (2005). Facile large scale synthesis of WS_2 nanotubes from WO_3 nanorods prepared by a hydrothermal route. *Solid State Sciences*, 7(1), 67-72.
- Wang, J., Khoo, E., Lee, P. S., & Ma, J. (2009). Controlled synthesis of WO_3 nanorods and their electrochromic properties in H_2SO_4 electrolyte. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(22), 9655-9658.
- Wu, X., Wang, W., Li, F., Khaimanov, S., Tsidaeva, N., & Lahoubi, M. (2016). PEG-assisted hydrothermal synthesis of CoFe_2O_4 nanoparticles with enhanced selective adsorption properties for different dyes. *Applied Surface Science*, 389, 1003-1011.
- Zhang, J., Wang, X. L., Xia, X. H., Gu, C. D., & Tu, J. P. (2011). Electrochromic behavior of WO_3 nanotree films prepared by hydrothermal oxidation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(8), 2107-2112.
- Zheng, F., Zhang, M., & Guo, M. (2013). Controllable preparation of WO_3 nanorod arrays by hydrothermal method. *Thin Solid Films*, 534, 45-53.



Sezgisel Algoritmaları Kullanarak Raf Optimizasyonu Çalışması ve Bir Yazılım Uygulaması

Tijen Över Özçelik*, Gül Gündüz²

¹ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9614-8119)

² Abdullah Gül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7463-3458)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 31 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.606566)

ATIF/REFERENCE: Özçelik, T. Ö. & Gündüz, G. (2019). Sezgisel Algoritmaları Kullanarak Raf Optimizasyonu Çalışması ve Bir Yazılım Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 977-982.

Öz

Otomobil montajının çok sayıda parçadan oluşması, sürekli değişen tüketici talebinden dolayı ürün çeşitliliğine gidilmesi ve fabrika yerleşkesinin belirli bir limitinin olması sebebiyle; raf alanı bir otomotiv fabrikasının neredeyse en sınırlı kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Raf alanının etkin, verimli ve doğru yönetimi, hem maliyet açısından performansın en iyilenmesi, hem çalışanların yürüme mesafelerinin azaltılmasıyla hareket mudalarının önlenmesi, hem de artan üretim talebiyle ürün miktarına rağmen fabrika yerleşkesinin aynı kalması açısından kritik önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada; kutu çeşidi çerçevesinde, standart raflar kullanılmış ve ergonomik standartları da göz önünde bulundurarak raf optimizasyonu ve raf alanı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Uygulama bir gerçek hayat problemi olduğu için matematiksel olarak modellenmesi ve optimum çözümlerin bulunması oldukça zordur. Modellenmesi zor olan problemlerin, en uygun değere yakın bir çözüm verebilmesi için sezgisel yöntemlerden faydalanılmıştır. Çalışmada kullanılan ilk metot sezgisel metotlardan biri olan Greedy Algoritmasıdır. Kutular raflara bu algoritmaya göre yerleştirilmiştir. Açgözlü algoritmalar her zaman ve her problem için optimal çözümü vermese de bazı problemler için en uygun çözümü vermektedirler. Bir kerede tek bir karar verme, karar verirken yerel bilgiyi kullanma, karar verirken o an için en çok faydayı bulma gibi işlemler açgözlü probleminin özelliklerindedir. Algoritma en çok faydayı aramaya odaklandığı için açgözlü olarak ifade edilmektedir. Çalışmada kullanılan diğer bir yöntem ise planogram'dır. Raf ve ürün düzenleme yazılımı olan planogram probleme uyarlanmıştır. Planogram; ürünlerin raflarda hangi şekilde düzenleneceğine ve yerleştirileceğine gösteren diyagramları ifade eden yazılımlardır. Ürünlerin raflardan çıkış sırası, boyutları, optimizasyon kuralları ve ergonomi kriterleri göz önüne alınarak oluşturulan yazılım ile belirlenen kısıtlar doğrultusunda en iyiye yakın raf yerleştirme gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Greedy Algoritması, Sırt Çantası Problemi, Raf Optimizasyonu, Planogram.

Shelf Optimization Study By Using Heuristic Algorithms and A Software Application

Abstract

Automobile assembly consists of a large number of parts, due to the ever-changing consumer demand due to the variety of products and factory site has a certain limit; shelf space is almost one of the most limited resources of an automotive factory. Efficient, productivity and accurate management of the shelf area is critical for optimizing the performance in terms of cost, preventing movement breaks by decreasing the walking distance of the employees, and keeping the factory campus the same despite the increasing production demand. In this study; In the box type, standard shelves were used and rack optimization and shelf space optimization were carried out considering ergonomic standards. Since the application is a real-life problem, it is very difficult to model mathematically and to find the optimum solutions. Heuristic methods have been used in order to provide a solution close to the most appropriate value of the problems that are

* Corresponding Author: Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9614-8119, tover@sakarya.edu.tr

difficult to model. The first method used in the study is the Greedy Algorithm, which is one of the heuristic methods. Boxes are placed on shelves according to this algorithm. Although Greedy Algorithms do not always provide the optimal solution for every problem, they provide the most suitable solution for some problems. Making one decision at a time, using local information in the decision-making process, such as finding the most useful for the decision-making process is a feature of the Greedy problem. The algorithm is expressed as Greedy because it focuses on seeking the most benefit. Another method used in the study is the Planogram. The shelf and product layout software, Planogram, is adapted to the problem. Planogram; software that expresses diagrams showing how products are arranged and placed on shelves. The best possible shelf placement was carried out in line with the constraints determined by the software created by taking into consideration the order, dimensions, optimization rules and ergonomics criteria of the products.

Keywords: Greedy Algorithm, Knapsack Problem, Shelf Optimization, Planogram.

1. Giriş

Raf Optimizasyonu, raflarında ürün tutan bütün firmaların karşına çıkabilecek güncel ve dinamik bir problemdir. Raf optimizasyonu için bu çalışmada olduğu gibi sezgisel yöntemlerden faydalanılabildiği gibi sezgisel olmayan yöntemler de kullanılabilir. Sezgisel olmayan yöntemlerin kullanılması durumunda yani problemin matematiksel olarak modellenebilmesi durumunda ise uygun kısıtlar ve amaç fonksiyonu oluşturularak model çözümlenebilir. Raf optimizasyonu ve raf boşluklarına ürün atanması ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda belirli bir ürünün sergileme alanı değişiminin tamamlayıcı veya ürünlerin talebi üzerine etkisini ölçen çapraz esneklik raf alanı yönetim modellerinde sıklıkla kullanılmaktadır. “Süpermarketlerdeki raf alanı ve birim satış ilişkisi” konulu makalede; raf değişikliklerinin birim satışlar üzerindeki etkisinin incelenmesinde, alan elastikiyeti fiziksel özellikler, satış özellikleri ve kullanım özellikleri de dâhil olmak üzere ürüne özgü değişkenlerin bir fonksiyonu olarak hipnotize edilmiştir (Churhan, 1972). Model kademeli çoklu regresyon kullanılarak test edilmiştir ve raf alanının birim satışlar üzerindeki etkisinin diğer değişkenlerin etkisine göre çok küçük olduğu tespit edilmiştir. “Optimal Marka Koleksiyonunu ve Sergileme Alanı Tahsisini Eşzamanlı Olarak Belirlemeye Yönelik Matematiksel Bir Model” konulu makale perakende dağıtımına ilişkin temel bir kısa vadeli kaynak tahsisi sorununu ele almaktadır: Aynı anda birçok kişiden gösterilmesi gereken belirli markaları ve bu markalara atanması gereken perakende ürün teşhir alanını bulma problemini, perakende kurumu kârını maksimize ederek sağlamayı amaçlamıştır (Anderson, 1974). “Süpermarkette ürün seçimi ve alan tahsisi” ; bir süpermarkette satılacak ürün çeşitlerinin belirli bir ürün kümesi ve bu ürünlere raf alanı tahsisi arasında eşzamanlı optimal seçim için bir model ve bir algoritma önerilmiştir (Hansen, 1979). Model, satışların alan esnekliğini ve ayrıca seçilen herhangi bir ürünün minimum bir raf alanı alması ve her bir ürüne tahsis edilen raf alanının, tam sayıdaki yüzeye eşit olması gerektiğini sınırlamaları dikkate almaktadır. “Perakende Teşhir Alanı Analizi: Kuram ve Yöntem” konulu makale (Anderson, 1979); Perakende yönetiminin en önemli kısa vadeli kararlarından biri, bir ürün markaları portföyü oluşturmak ve her birine atanması gereken sergileme alanını belirlemektir. Bu makale, tüketici marka tercihlerinin bir profili göz önüne alındığında, marka pazar payları ve ürün teşhir alanı payı arasındaki ilişkinin teorik bir modelini geliştirmektedir. Teori tarafından önerilen deneye dayalı bir pazar payı esnekliği ölçüsü deneysel veriler kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmektedir. “Perakende alan tahsislerini optimize etmek için bir model” içeriğini ele alan makalede; rekabetçi ürünler arasında az sayıda raf alanı tahsis edilmesi perakendecilikte merkezi bir sorundur. Alan tahsisi, hem ana hem de çapraz uzay esnekliklerinin dikkate alınması gereken talep fonksiyonu ve maliyet fonksiyonu (satın alma, taşıma ve stok dışı maliyetler) aracılığıyla mağazanın karlılığını etkilemektedir (Corstjens, 1981). Her iki etkiyi de benzersiz bir şekilde içeren bir model geliştirilmiştir. Parametreleri tahmin etmek için bir vaka çalışması kullanılmış ve problem geometrik bir programlama çerçevesinde çözülmüştür. Alternatif prosedürlerle yapılan kapsamlı bir karşılaştırma, bu genel modelin önemli ölçüde farklı tahsisat kurallarına ve üstün kâr performansına yol açtığını göstermektedir. Çapraz esnekliği temel alan modeller genellikle “NP-Zor” yapısı içinde sınıflandırıldığından modeli çözmek amacıyla pek çok çalışmada sezgisel yöntemler önerilmiştir. Benzetimli tavlama, tabu arama algoritması, ağ akış modeli, genetik algoritma, sırt çantası ve açgözlü yaklaşım, esaslı birçok metod raf alanı problemlerinden başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır (Bai ve arkadaşları, 2008; Borin ve arkadaşları, 1994; Lim ve arkadaşları, 2002&2004, Hwang ve arkadaşları, 2009; Urban, 2005; Özcan & Esnaf, 2010). “Entegre bir raf alanı tasarımı ve ürün tahsisi problemine genetik algoritma yaklaşımı” ile hazırlanan makale; raf alanında sergileyerek çeşitli markalarda ürün satan perakendecilerin sorunlarını ele almaktadır. Perakendecinin kârını en üst düzeye çıkarmak amacıyla raf alanı tasarımı ve ürün tahsisat sorunu için entegre bir matematik modeli geliştirilmiştir (Hwang ve arkadaşları, 2009). “Raf alanı optimizasyonu” konulu çalışma; raf boşluklarının atanması problemini çözmek için uygun ürünleri uygun raflara atayarak kârı en iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Academia, 2007). Bu çalışmada ise bir sezgisel yaklaşım olan greedy algoritmasından faydalanılmıştır. Greedy algoritmasının tam optimizasyonu sağlayamadığı durumu gidermek için planogramdan faydalanılmıştır. Literatürde; raf alanı yönetimi kapsamına giren raf boşluklarının atanması ve raf optimizasyonu problemi ile ilgili sezgisel bir yaklaşımla planogramı birlikte kullanan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu konudaki literatür çalışmaları işletmede yaşanan problemin çözümüne ilham kaynağı olmuştur.

Çalışmada; raflara kutu atanması ilk etapta Greedy algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Bu atama işlemi için, 3 raf tipine 6 farklı kutu tipinin yerleştirilmesi Greedy algoritması ile modellenmiştir. Bu optimizasyon probleminde Greedy algoritması ve sırt çantası problemi mantığı ile değerlere, öneme göre en uygun yerleştirme yapılması hedeflenmiştir. Mevcut raf boşluklarına ürün atanması ve raf optimizasyonun sağlanması probleminde çok çeşitli kısıtlar bulunmaktadır. Ağır parçaların rafın orta katına yerleştirilerek ergonominin sağlanması, her parçanın raf stok maksimum sayısı, kutuların derinlik, genişlik ve yükseklik ölçülerinin yanında rafların derinlik, genişlik ve yükseklik ölçülerine göre en fazla kutu yerleştirilmesini sağlamak için ilk etapta kullanılan Greedy algoritması en uygun çözüm için yetersiz kalabilmektedir. Amaç raflara; ergonomik kriterlere, kutu stok maksimum sayısı kısıtına uygun biçimde en fazla kutuyu yerleştirerek optimizasyonu sağlamak ve firmaya bu sonuçları gösteren bir raf haritası vermektir. Bir ürünün veya ürün grubunun satış rakamlarının analizini yaparak, raflarda nasıl sergileneceğini gösteren çizimler olan planogramlar, kutuların parça listesi kullanım sırası, ergonomi kriterleri ve açgözlü mantığı göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Yazılım sonucu belirlenen kısıtlar doğrultusunda parçalar raflara yerleştirilerek en iyiye yakın planogram görüntüleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu planogram için yazılım yapılırken; Microsoft

access programına aktarılan parça listesiyle entegre çalışacak bir program yazılmış, bu program yazılırken Visual Studio C#'dan faydalanılmıştır. Mevcut raf planı program çalıştıktan sonra optimizasyon yapılmış sonucu Excel'e aktararak çıktı alınabilmektedir.

Çalışmanın organizasyonu; birinci bölümünde raf optimizasyonu genel giriş ve ilgili literatür araştırması, ikinci bölümde kullanılan metotlar, üçüncü bölümde uygulama çalışması için hazırlanan yazılım ile Greedy algoritmasının karşılaştırılması ve son bölümde ise raf haritası yazılımının sonuçlarının geliştirilmesi için önerilerden oluşmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları

Yöneylem araştırması teknikleri ve modelleme mantığı belirli bir probleme yönelik en uygun çözümün bulunmasını amaçlayan yöntemler bütünü olarak ifade edilmektedir. Dünya üzerindeki gerçek karmaşık problemlere matematiksel modelleme, algoritma ve istatistik gibi bilimsel yöntemlerden faydalanarak çözümler sunan bir bilim dalıdır. En uygun çözümün bulunmasını isteyen problemler ise optimizasyon problemleri olarak sınıflandırılabilir (Berberler, 2009). Tavlama benzetimi, Genetik algoritmalar, karınca kolonisi, parçacık sürü optimizasyonu, çok yönlü ve hibrit metotları, evrimsel algoritmalarda kısıt ele alma teknikleri, yapay arı kolonisi, greedy algoritması bazı sezgisel algoritmalarından birkaçıdır. Sezgisel optimizasyon algoritmaları en mükemmel çözümü bulmayı garanti etmeyen, algoritmanın ne kadar kısa sürede, ne derece iyi çözüme ulaşıyorsa o kadar etkili kabul edileceği mantığı ile çalışan yaklaşımlardır.

2.1.1. Sırt Çantası Problemi ve Greedy (Açgözlü) Algoritması

Sırt çantası problemleri tamsayı programlama problemlerinin bir alt türüdür. Bu problemlerin içinde en basit olan tür olarak kabul edilmesinin nedeni, problemin tanımlanmasının anlaşılabilir olması ve gerçek hayatta yüzleşilebilecek pek çok durumun bu probleme göre kolay bir biçimde ifade edilebilmesidir. Günümüzde sırt çantası problemi, bilim adamları tarafından yoğun bir şekilde çalışılmakta ve araştırılmaktadır. Bu popülerliğin sebebi ise, problemin kolay olması ve birçok endüstriyel alana uygulanabilmesidir. Sermaye bütçeleme, proje seçimi, kargo yükleme, kesme gibi problemler sırt çantası şeklinde modellenebilen problemlerden birkaçıdır. Problem s tek bir kısıt ve sadece pozitif katsayılarla ifade edilen en basit tamsayı model olarak bilinmektedir. Fakat değişkenlerin tamsayı olma koşulu sırt çantası problemini NP-tam sınıfı içine yerleştirmektedir. Sırt çantası problemi, bir maksimizasyon problemidir, kesikli optimizasyon problemleri içerisinde tam sayılı doğrusal programlamanın en basit olan çeşididir (Berberler, 2009).

Sezgisel bir yöntem olan açgözlü türündeki algoritmalar tasarım kolaylığı ve optimum çözüme yaklaşımı açısından oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bir seferde tek bir karar verir, karar verirken yerel bilgiyi kullanır, karar verirken o an için en fazla faydayı gözetme açgözlü algoritmasının özelliklerindedir. Başka bir ifadeyle en uygun çözüme götürebilir yaklaşımıyla yerel en uygun seçimler yapmaktadır. Açgözlü algoritması başlangıç olarak nesnelere bazı kısıtlara göre sıralar ve boş kümeden başlamak üzere çözüm kümesini genişletmeye çalışır. Yani yukarıda verilen ilk özellik kullanılır: Tek seferde tek nesne için karar verilmektedir. Sondaki çözümün uygun olması durumunda, nesne o anki geçerli çözüme eklenirken; aksi durumda bir daha işleme girmemek üzere elenmektedir (Berberler, 2009).

2.2. Planogram

Planogram; ürünlerin mağaza raflarında veya depo raflarında ideal durumdaki sergilenmelerini tasarlamak için kullanılan ve bilgisayarda çeşitli yazılımlar vasıtasıyla hazırlanan bir yerleşim planı diyagramıdır. Piyasada her raf tipine uygun ihtiyaçlara göre hazırlanmış özel planogram programları bulunmaktadır. Ayrıca, planogram elle, paintte, photoshopta veya herhangi bir uygun programda da çizilebilmektedir (Arslan, 2014). Planogramlar, her bir ürünün fiziksel olarak tam olarak hangi rafa, rafın kaçıcı katına ve ürünün hangi yüzünün mağaza raflarına ya da depo raflarına yerleştirilmesi gerektiğini göstermek için kullanılmaktadır. Sınırlı raf alanı kapasitesi problemi sebebiyle, planogramlar maddi getiriye optimize etmek amacıyla kullanılan önemli yerleşim uygulamalarındandır. Elektronik planogramlar ise stok kontrolü ve satıcı ilişkisinin iyileştirilmesi için de kullanılabilen önemli araçlardandır. Fakat planogram üretmek ve tasarlamak zor ve zaman alıcı bir süreci oluşturmaktadır. Çünkü planogram probleminin en basit şekli, hali hazırda çözülmesi çok zor olarak bilinen bir "NP-zor problemi" olan birçoklu sırt çantası problemi olarak tanımlanmaktadır (Bai&Kendal, 2005).

3. Uygulama

Belirlenen raf standartları doğrultusunda 110(7 kat) cm'lik raflar, 220(5 kat) cm'lik raflar ve 330(4 kat) cm'lik raflar bulunmaktadır. Parça listesindeki kutu ölçülerine ve minimum ve maximum parça listesine göre raflara kutu ataması yapılması istenmektedir. Her kutu tipine ve rafına göre kutuların kaç çok kat besleneceği, ergonomi kurallarına göre ve en uygun şekilde nasıl besleneceği üzerine bir uygulama çalışması hazırlanmıştır.

Kutu sayısı	Kat sayısı	Kutu sayısı	
Ürün no	2 kat	10 adet	
xxxx	550 cm	355 cm	165 cm

Şekil 1. Yerleşim Yapılacak Bir Kutunun Bilgi İçerikleri

Şekil 1’ de örnek bir kutu yerleşim bilgisi verilmiştir. Kutu sayısı içine kaç adet kutu yerleştirileceği, kat sayısına aynı kutudan üst üste kaç kat yerleştirileceği, ürün numarası bilgisi ve kutunun uzunluk genişlik ve yükseklik ölçüleri gibi bilgileri gösterilmiştir. Raflara kutu atamaları, her kutunun ve her rafın bilgi içeriğine göre gerçekleşmektedir. Örneğin 330 cm’lik bir raf için 165 cm’lik kutudan 2 kat beslenebilmektedir. 165 cm yüksekliğindeki kutu 110 cm yüksekliğindeki rafa yerleştirilemez fakat 220 cm’lik rafa tek kat besleme şeklinde atama yapılabilmektedir. X,Y ve Z üç farklı raf çeşidini ifade eden semboller olurken, SN, FB ve FC ise farklı ölçülere sahip kutuların çeşitlerini temsil etmektedir. SN kutusu 355 cm uzunluğa, 280 cm genişliğe ve 40 cm derinliğe sahip bir kutu için kullanılan temsili ifadedir. FB kutusu 355 cm uzunluğu, 275 cm genişliği ve 245 cm derinliği olan bir kutu için kullanılırken, FC kutusu 355 cm uzunluğu, 550 cm genişliği ve 165 cm derinliği olan bir kutu çeşidini temsil etmektedir.

Tablo 1. Kutu tiplerinin raf tiplerine göre fayda getirileri, kâr ilişkileri ve bulunması gereken kutu sayıları

	Kutuların uzunlukları ve raflardaki getirileri					
	Raf X	Raf Y	Raf Z	Kutu L	Kutu W	Kutu H
SN	1,50	0,5	0,25	355	280	40
FB	0	0	2	355	275	245
FC	0	1	3	355	550	165
Raf uzunluğu	110	220	330			

Kutuların birbirleriyle olan kâr ilişkisi				Raflarda bulunması gereken min-max kutu sayısı		
	SN	FV	FC		Min	Max
SN	1	0	0	SN	20	160
FB	0	1	0,5	FB	12	1030
FC	0	0,5	1	FC	14	105

Tablo 1’ de 3 farklı kutu tipi ve 3 farklı raf tipinin genişlik, uzunluk ve yükseklik bilgilerinin yanında raf-kutu fayda getiri bilgileri de tabloda verilmiştir. Kutuların birbiriyle olan kâr ilişkileri ve raflarda bulunması gereken kutu türüne göre değişen maksimum ve minimum kutu sayısı miktarları tablo içeriğinde sergilenmiştir.

Tablo 2. SN kutuların greedy yaklaşımına göre yerleştirilmesi

RAF-X	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	7.kat
	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	6.kat
	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	5.kat
	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	4.kat
	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	3.kat
	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	2.kat
	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	SN*2	1.kat

Öncelikli olarak raf X’ e yerleştirme yapılmalıdır. Tablo 1 incelendiğinde, getirisi en yüksek olan SN kutu tipi seçilmesi gerektiği görülmektedir. Tablo 1’de kutuların birbiriyle ilişkisi incelendiğinde ise görüldüğü gibi karı en yüksek SN kutu yanına SN kutu gelmesi durumu uygundur. Raf X ölçüsünü SN kutu ölçülerine bölerek rafın kaç kutu alabildiği hesaplanmaktadır. Örnekteki gibi; 2500 cm raf uzunluğunu 355 cm olan kutu uzunluğuna bölüp çıkan sonuç olan 7’yi, 1980 cm olan raf genişliğini 280 cm olan kutu genişliğine bölüp çıkan sonuç olan 7’yi ve 110 cm olan raf yüksekliğini 40 cm olan kutu yüksekliğine bölüp çıkan sonuç olan 2’yi çarparak elde edilen 98 adet kutu bulunması ve 7 katlı rafa, 2 katlı kutular şeklinde beslenmesi tablo 2’de gösterilmiştir. Buna göre elde edilen kâr, çarpaz kâr durumlarını da göz önüne alındığında; $RAF-X = (SN \text{ Kutusunun } X \text{ nolu raftaki kârı}) * (X \text{ nolu raftaki SN kutu adeti}) * \text{Raf katı sayısı}$

RAF-X=1.5*98*7=1029 değeri bulunmuştur. Bu rafa yerleştirmede kullanılan algoritma açgözlü ve sırt çantası problemi mantığı göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Ağır kutular için rafların orta katları tercih edilmiştir, çalışanın ergonomik açıdan rahatlığı göz önünde bulundurulmuştur.

3.1.Uygulamanın Optimizasyonu İçin Hazırlanan Planogram Yazılımı

Planogramın stok raflarındaki verimliliğinden faydalanmak için sezgisel mantıkla çalışan bir yazılım geliştirilmiştir. İlk adım olarak parça listesini Access haline getirdikten sonra C#’ da gerekli kodlar yazılarak bu accesten raf haritası için uygun kolonların çekilmesi sağlanmıştır. Gerekli sütunlar; kutu numarası, tipi, derinliği, genişliği, yüksekliği ve maximum sayısıdır. Program raf derinlik, genişlik ve yüksekliğini; kutu derinlik, genişlik ve yüksekliğine bölüp maxstore sayılarına bakarak en çok kutu kapasitesi sağlamayı hedeflemektedir. Bu işlemi yaparken ağır kutuları da ergonomik olarak yerleştirmektedir. Kutu ağırlıklarına bakarak ağır kutuyu en alt rafa ve en üst rafa yerleştirmeyi engelleyerek alımı kolay raf katlarına yerleşimi sağlamaya yönelik algoritmalar yazılmıştır. Sonraki adımda çekilen bilginin programa işlenmesini sağlamak için getir butonuna basarak gerekli parça bilgisine erişilmektedir. En son adım ise oluşturulan raf haritası optimizasyonunun excele aktarılmasıdır.

Raf No	Ürün No	Max	Raf Tipi	Kutu Tipi
A8	3349	2	110	SN
A8	3469	6	110	SN
A8	9692	16	110	SN
A8	9723	7	110	SN
A8	3619	2	110	SN
A8	3712	10	110	SN
A8	4386	13	110	SN
A8	4432	9	110	SN
A1	1009	2	330	FB
A1	1062	2	330	FB
A1	1238	2	330	FB
A1	1372	2	330	FB
A1	1435	2	330	FB
A1	1497	2	330	FB
A1	1541	2	330	FB
A1	1625	2	330	FB
A1	1708	2	330	FB

Şekil 2. Getir Butonuna Basılarak Veri Aktarmave Optimize Edilen Rafın Excel Formatı

Şekil 2’de program arayüzü ve veri aktarma formu gösterilmiştir. Ergonomi kurallarına ve açgözlü algoritmasına göre optimize edilen rafın yerleşim düzeninin bir excel formuna aktarılması bu buton arka planındaki yazılım sayesinde elde edilmektedir.

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36
FB	FB	FB	FB	FB	FB	FB	SN	SN	SN	SN	SN	SN	SN	SN	SN	SN	SN	SN	SN	SN	FV	FV	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	SH

Şekil 3. RafOptimizasyonu Yapılmış Haritanın Yukarıdan Görünüşü

Şekil 3’te ise program ile atanan kutuların raf düzenine aktarılması ve haritanın yukarıdan görünüşü verilmiştir. Raf optimizasyonuna göre hazırlanan 36 raflı düzende, her raf tipinde bulunması gereken kutu tipi ataması yapılmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada; raf boşluklarının atanması ve raf optimizasyonu için bir sezgisel yaklaşım olan greedy algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin; etkinliği bir otomobil firmasından alınan verilerle gerçekleştirilen küçük ölçekli bir örnek ile sunulmuştur. Modelin Karmaşık yapısından dolayı, model çözümü için Visual studio C# altında çalışan planogram tabanlı bir raf haritası yazılımından faydalanılmıştır. Bu çalışmanın katkıları literatür açısından ve firmalar açısından oldukça fazladır. Literatürdeki çalışmalarda sadece sezgisel algoritma ya da sadece tamsayı programlama yöntemleri kullanarak geliştirilen modeller bir planogram yazılımı sayesinde simüle edilme fırsatı bulunmuştur. Geliştirilen yaklaşım büyük ölçekli raf alanı yönetim problemlerine de uygulanabilecek esnekliktedir. Kutu sayısı ve raf tipi gibi değişiklikler esnek yazılım sayesinde kolaylıkla değiştirilebilecek ve optimizasyon sağlanmış olacaktır. Ancak; bu problemlerin çözümü için farklı sezgisel yaklaşımlara ve daha güçlü bilgi teknolojisi araçlarına ihtiyaç duyulacaktır. Raf haritası yazılımı talep edilen firmada manuel olarak excelde yapılırken ve yaklaşık olarak 1 ay süre almaktayken aynı zamanda 2 işgücü

bu konuda çalışmaktaydı. Manuel olarak yapılan işlemde unutulmuş kutular ve yanlış girilen sayılar yazılan program sayesinde minimize edildi. Yapılan çalışma sayesinde 2 işgücü 1 işgücüne indirildi. A42 olarak gösterilen 42 adet raftan 36 tanesi kullanılarak 6 adet raf ve raf alanından kazanıldı. Raf haritası çalışması soft ortama aktarılarak 1 aylık süreden 45 sn'lik bir süreye indirilirken bu işten kazanılan zaman ve işgücü ile firma başka sorunlarını çözmeye odaklanacak fırsatlar buldu. Bu çalışma rafta stok tutan başka firmalar içinde revize edilip kullanılabilme niteliği taşımaktadır. Program herhangi bir veri değişikliği için gerekli esnekliklere sahiptir.

Kaynakça

- Ronald C. Curhan, (1972). The Relationship Between Shelf Space and Unit Sales in Supermarkets, *Journal of Marketing Research*, Cilt: 9; No: 1; sf.: 406-412.
- E. Evan Anderson, Henry N. Amato, (1974). A Mathematical Model for Simultaneously Determine The Optimal Brand-Collection and Display-Area Allocation, *Operations Research*, Cilt: 22, No: 1; sf.: 394-406.
- Pierre Hansen , Hans Heinsbroek, (1979) .Product Selection and Space Allocation in Supermarket, *European Journal of Operational Research*; Cilt: 3; No:6; sf.: 474-484
- E. Evan Anderson; (1979). An Analysis of Retail Display Space: Theory and Methods, *Journal of Business*, Cilt: 52, No: 1; sf.: 103-118.
- Marcel Corstjens, Peter Doyle, (1981). A Model For Optimizing Retail Space Allocations, *Management Science*, Cilt: 27; No:7; sf.: 822-833.
- Yunus Demir, Cafer Çelik, (2016). Müfredat Bazlı Akademik Zaman Çizelgeleme Probleminin Çözümüne Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 31, Sayı 1.
- Ruibin Bai, Edmund K. Burke, Graham Kendall, (2008). Heuristic, Meta-heuristic and Hyper-Heuristic Approaches for Fresh Produce Inventory Control and Shelf Space Allocation, *Journal of the Operational Research Society*, doi:10.1057, sf.: 1-11.
- Norm Borin, Paul W. Farris, James R. Freeland, (1994). A Model for Determining Retail Product Category Assortment and Shelf Space Allocation, *Decision Science*, Cilt: 25; No: 3; sf.: 359-384.
- Andrew Lim, Brian Rodrigues, Xingwen Zhang, (2004). Metaheuristics with Local Search Techniques for Retail Shelf-Space Optimization, *Management Science*, Cilt: 50; No: 1; sf.:117-131.
- Andrew Lim, Brian Rodrigues, Fei Xiao, Xingwen Zhang, (2002) Adjusted Network Flow for the Shelf-Space Allocation Problem, *Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*; sf.: 224 230.
- Hark Hwang, Bum Choi, Grimi Lee, (2009). A Genetic Algorithm Approach to An Integrated Problem of Shelf Space Design and Item Allocation, *Computers and Industrial Engineering*, Cilt: 56; No: 3; sf.: 809-820.
- Timothy L. Urban, (2005). An Inventory Theoretic Approach to Product Assortment and Shelf Space Allocation, *Journal of Retailing*, Cilt: 74; No:1; sf.: 15-35.
- Bilal Saim, Sezgisel Arama Algoritmaları, Erişim Adresi <https://www.bilalsaim.com/sezgisel-optimizasyon-algoritmaları-heuristic-algorithms-h1632>.
- Murat Erşen Berberler, (2009). Sırt Çantası Problem Türleri ve Uygulamaları, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi,
- Semih Arslan, (2014). Erişim Adresi <https://markamuduru.com/planogram-nedir/>.
- Ruibin Bai, Graham Kendall (2005). An Investigation of Automated Planograms Using a Simulated Annealing Based Hyper-Heuristic, *Operations Research/Computer Science Interfaces Series book series* (ORCS, volume 32).
- Mustafa Ayhan, YAEM, (2007). Erişim Adresi https://www.academia.edu/2283596/RAF_ALANI_OPT%C4%B0M%C4%B0ZASYONU_SHELF_SPACE_OPTIMIZATION.
- Tuncay Özcan, Şakir Esnaf, (2010). Perakende Endüstrisinde Raf Alanı Tahsis ve Mağaza Yerleşim Optimizasyonuna Bütünleşik Bir Model Önerisi, *İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 1, 55-63.