

A comparative study and a proposal of a decision support system for the pull systems

İhsan EROZAN*

Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 43100, KÜTAHYA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 24/12/2018

Revision :20/06/2019

Accepted:27/06/2019

Highlights

- Production control systems.
- Comparison of pull systems.
- A decision support system for control of pull systems.

Keywords

Pull systems
 Kanban
 Conwip
 Polca

Pull system is a production approach that material movement is triggered by a signal. In this study, CONWIP and POLCA pull systems that are proposed as an alternative to kanban have been analysed and a comparative study has been presented. Besides, a decision support system has been proposed to assist in selecting the most appropriate pull system.

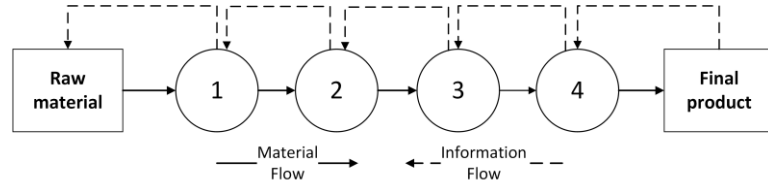


Figure A. Material and information flow in a pull system

Purpose: The purposes of this study are to analyse kanban, CONWIP, and POLCA pull systems and to propose a decision support system to assist in selecting the most appropriate pull system.

Theory and Methods: The proposed decision support system was based on the fuzzy logic and simulated using MATLAB.

Results: The experimental results have shown that the proposed decision support system can produce good results for different inputs and can be a guide for decision makers in production environment.

Conclusion: In this study, CONWIP and POLCA pull systems that are proposed as an alternative to kanban were analysed. According to the results of this analysis, a decision support system was proposed to assist in selecting the most appropriate pull system. The system was tested using a dataset that has 30 records. The results have proved that the proposed system can produce good results for different inputs.



Çekme sistemleri için karşılaştırmalı bir analiz ve bir karar destek sistemi önerisi

İhsan EROZAN*

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 43100, KÜTAHYA

Özet

Çekme sistemi, malzeme hareketinin bir sinyal aracılığı ile tetiklendiği üretim yaklaşımıdır. Çekme sistemi genelde kanban sistemi ile aynı anlamda kullanılmasına rağmen bazı üretim ortamlarında kanban sisteminin iyi çalışmadığı görülmüş ve kanbana alternatif olan CONWIP ve POLCA gibi çekme sistemleri geliştirilmiştir. Literatürdeki farklı çekme sistemlerinden dolayı üretim ortamına ve pazar şartlarına uygun çekme sisteminin seçilmesi etkili üretim sistemleri geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada kanbana alternatif olarak önerilen CONWIP ve POLCA çekme sistemleri incelenmiş ve karşılaştırılmalı bir değerlendirme sunulmuştur. Bu değerlendirmenin sonucu olarak uygun çekme sisteminin seçilmesine yardımcı olabilecek bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar bulanık mantığa dayalı olan bu karar destek sisteminin farklı girdiler için iyi sonuçlar üretebildiğini ve üretim ortamındaki uzman olmayan karar vericilere yol gösterici olabileceğini göstermiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 24/12/2018
Düzeltilme: 20/06/2019
Kabul: 27/06/2019

Anahtar Kelimeler

Çekme sistemleri
Kanban
Conwip
Polca

Keywords

Pull systems
Kanban
Conwip
Polca

A comparative study and a proposal of a decision support system for the pull systems

Abstract

Pull system is a production approach that material movement is triggered by a signal. Although the pull system is usually used as a synonym of kanban system, it has been seen that kanban does not work well in some production environments, and some pull system alternatives to kanban such as CONWIP and POLCA are developed. Due to different pull systems in the literature, selection of a pull system that is suited to the production environment and market conditions plays an important role in the development of effective production systems. In this study, CONWIP and POLCA pull systems that are proposed as an alternative to kanban have been analysed and a comparative study has been presented. As a result of the work, a decision support system has been proposed to assist in selecting the most appropriate pull system. The decision support system is based on fuzzy logic theory. The experimental results have shown that the decision support system based on the fuzzy logic can produce good results for different inputs and can be a guide for decision makers in production environment who are not expert.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

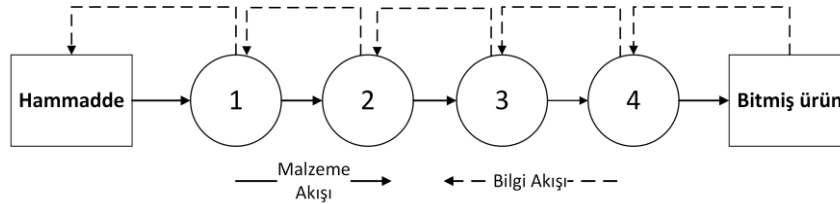
Üretim kontrol stratejileri genelde çekme ve itme sistemleri olarak iki başlıkta sınıflandırılır. Bu iki kavram arasındaki temel ayrım üretimin tetiklenmesi yani üretim emrinin verilmesi noktasında ortaya çıkmaktadır [1]. İtme sistemlerinde üretim, talep tahminine göre tetiklenirken çekme sistemlerinde üretim anlık talebe göre tetiklenir. Üretimin tetiklenmesinde kullanılan bu iki strateji; süreç içi stoku (work-in-process-WIP), hammadde stokunu ve nihai ürün stokunu yönlendirebildiği için üretim kontrolünde önemli bir yere sahiptir.

Çekme sistemi (pull system), Toyota firmasının 1955–1965 yılları arasındaki çalışmaları sonucunda ortaya çıkmış [2] ve kısa sürede Toyota üretim sisteminin ve tam zamanında üretimin önemli bir parçası haline

gelmiştir. Günümüzde tam zamanında üretimin (just-in-time-JIT) gerçekleştirilmesi için üretimde uygun bir çekme sisteminin kullanılması gerekmektedir.

Çekme sistemi günümüzün modern üretim sistemleri tarafından sıkça tercih edilen bir üretim kontrol yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın üretimde popüler olmasının temel nedeni Toyota üretim sisteminin veya batıdaki adıyla yalın üretim sisteminin çekme sistemi ile stok ve maliyetleri azaltmadaki göz alıcı başarısıdır. Çekme sistemi bu başarıyı mevcut müşteri talebini üretim süreci boyunca sınırlı veya yeterli boyutta çekerek gerçekleştirir.

Çekme sisteminin literatürdeki en önemli örnekleri tam zamanında üretim ve süpermarket sistemidir. Tam zamanında üretimde çekme genellikle geleneksel kanban sistemi ile gerçekleştirilir. Süpermarket sistemi ise süpermarketlerdeki rafların beslenmesi yaklaşımına dayanır. Bu yaklaşımda, müşteri raftan bir ürün çektiğinde çekilen sayı kadar ürün rafa konulur. Süpermarket sistemini üretimde uygulamak için istasyonlar arasına süpermarketler kurulur. Gerek tam zamanında üretim gerekse de süpermarket sistemi çekme sisteminin bütün özelliklerine sahiptir. Bu iki sistem bütünleşik olarak kullanılabilir. Bu sistemler bilinenin aksine az da olsa bir miktar stokla çalışırlar. Ancak stok seviyesi genelde riskleri en küçükleyecek kadardır ve asla itme sistemi kadar çok değildir.

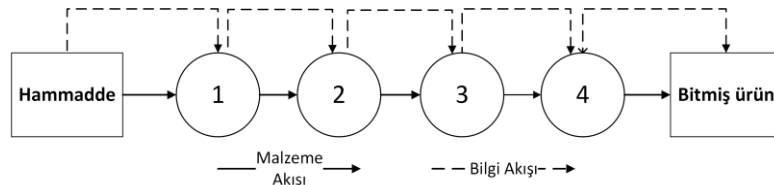


Şekil 1. Çekme sisteminde malzeme ve bilgi akışının gösterimi

Çekme sistemi müşteri talebine bağlı olarak tetiklenen bir sistemdir. Bu nedenle müşteri talebi olmadığı sürece çekme sistemi ile üretim yapılmaz [3], böylece malzeme hareketi sıkı bir şekilde kontrol edilmiş olur. Çekme sisteminde malzeme hareketi; ya müşteri siparişiyle bitmiş ürün stokundan ürün azalmasıyla (süpermarket sistemi) ya da stokta olmayan bir ürüne sipariş gelmesi ile başlar. Bu sistemde malzeme hareketinin veya üretimin başlaması için bir önceki istasyona/sürece bir sinyal (bilgi) gönderilir. Bu sinyal genellikle bir istasyon üretimde kullandığı girdileri tüketirse veya tüketimden dolayı istasyonun girdileri belirli bir seviyenin altına düşerse gönderilir [4]. Bu sinyal sistemi sayesinde hiçbir istasyon veya süreç önceden belirlenmiş bir miktarın üstünde çıktı üretmez, üretemez.

Geleneksel itme sistemleri (push system) 19. yüzyılda çeşitli sektörlerde kullanılmasına rağmen ilk kez Henry Ford tarafından modern bir sistem haline getirilip 20. yüzyılın başında tüm dünyaya tanıtılmıştır [5].

İtme sistemlerindeki istasyonlar kendilerine atanan üretim planlarını gerçekleştirip operasyon çıktılarını bir an önce bir sonraki istasyona itmeye odaklanırlar. Çekme sisteminin aksine itme sistemleri bir üretim tahminini ilk istasyondan itibaren ileri doğru iterek çalışırlar. Bu yaklaşımda, bir sonraki istasyonun ne durumda olduğu mevcut istasyonu ilgilendirmez. Amaç, üretim planını gerçekleştirmek için işlenmiş malzemeyi veya çıktıyı hızla bir sonraki istasyona itmektir. Hâlbuki bir sonraki istasyon kendine atanan işleri yetiştirememiş olabilir, hatta arıza nedeniyle istasyon çalışmaz durumda olabilir. Bunun yanında her şey sorunsuz çalışsa bile nihai ürünlerin satılma garantisi yoktur. İtme sistemlerinde müşterilerin üretilen ürünlere onaylanmış bir talebi yoktur. Bu nedenle ürünler satılmadan önce detaylı ve yoğun bir pazarlama çalışmasına ihtiyaç duyulur. Bu sırada kesin talebi olmayan bitmiş ürünler stokta bekler ve bu durum nihai ürün stokuna neden olur. Bu özellikten dolayı itme sistemleri stoka üretim yapan (make-to-stock) üretim sistemleri olarak tanımlanırlar. İstasyonlar arası iletişimsizlik ve istasyonların birbirine bağlılığının zayıf olması itme yaklaşımındaki verimsizliklerin temel nedenlerindedir.



Şekil 2. İtme sisteminde malzeme ve bilgi akışının gösterimi

Literatürde saf çekme ve saf itme sistemleri dışında çekme ve itme sistemlerinin beraber kullanıldığı karma (hibrit) sistemler de bulunmaktadır [6]. Bu sistemlere itme-çekme (push-pull) sistemleri adı verilmektedir. İtme-çekme sistemleri, çekme sistemlerinin düşük stok ve yüksek tepkisellik avantajları ile itme sistemlerinin ölçek ekonomisi avantajını bünyesinde birleştiren sistemlerdir [7]. İtme-çekme sisteminde üretim sistemindeki parçaların bir kısmı itilirken bir kısmı da çekilir [8]. İtme-çekme sistemleri, genellikle üretimin ilk safhalarında itme sistemi ile çalışır. Montaj, paketleme ve ürün gönderim işlemlerinin yapıldığı kalan safhalarda ise çekme sistemi çalışır [9, 10, 11]. Karma sistemler genelde siparişe göre montaj (assemble-to-order) ortamlarında kullanılır. Bu tip ortamlarda hammadde, itme sistemi ile üretim sisteminin ilk kısımlarında işlenerek yarı mamul haline getirilir [11], bir ürüne sipariş geldiği an bu yarı mamuller çekme sistemi ile nihai mamul haline getirilir.

Literatürde, çekme sisteminin itme sisteminden daha iyi olduğu gibi bir ortak kanı olsa da gerek saf itme sistemleri gerekse de saf çekme sistemleri belirli şartlar altında iyi çalışan sistemlerdir. Literatürde itme sistemlerinin çekme sistemlerinden daha performanslı çalıştığı durumlar da gözlenmiştir [8]. Bu nedenle bu iki yaklaşımın üstünlüklerinin şartlara göre değerlendirilmesi gerekir.

Tablo1. Çekme ve itme sistemlerinin karşılaştırılması

	Çekme Sistemi	İtme Sistemi
Üretim sinyali	İhtiyaç oluştuğu anda	İhtiyaç oluşmadan talep tahminine göre
Üretim yapısı	Çekme sistemi ile küçük lotlarla üretim	MRP'ye dayalı tahmini büyük lotlarla üretim [1, 4]
Talep yapısı	İstikrarlı talep yapısına uygun	Uzun dönemli yüksek talebe uygun
Talebe cevap verme yeteneği	Kesin ve anlık talebi karşılamaya çalışır	Tahmini talebi karşılamaya çalışır
Ürün çeşidi	Genelde orta seviyede	Genelde az sayıda
Üretim hacmi	Düşük-orta seviyede	Orta-yüksek seviyede
Planlama aralığı	Kısa dönemli	Uzun dönemli
Odak	Daha fazla kalite ve tam zamanında üretim	Daha fazla satış ve ürünü elde tutma
Nihai ürün stoku	Sıfır stoklu veya çok az stok ile çalışma	Yüksek stokla çalışma [12]
Süreç içi stok	Sinyal sistemi sayesinde süreç içi stok hem en küçüklenir hem de kontrol altında tutulur	Büyük hacimli üretimle yüksek süreç içi stokla çalışılır. Ancak dengelenmiş sistemlerde seviye düşük olabilir
İstasyonlar arası iletişim	Güçlü	Zayıf (çoğu verimsizliğin nedeni)
Maliyet stratejisi	Üretim maliyetlerini azaltmaya odaklıdır	Stoklardan dolayı ilave maliyet oluşumları gözlenebilir. Temel amaç birim maliyeti en küçükmektir
Ölçek ekonomisine uygunluk	Uygun değil veya kısmen uygun	Uygun
İsrafa bakış açısı	İsrafları önleyerek üretim maliyetlerini düşürür	İsraflı bir şekilde üretim yapılır. Satış için belirli bir seviyede israfa katlanılır
Rekabet yaklaşımı	Kaliteli ürün üretme, kişisel ürün üretebilme (kitleleşme kişiselleştirme)	Düşük maliyetli üretim, satışa hazır ürün sunma
Avantajlar	<ol style="list-style-type: none"> İtme sistemlerine göre daha az süreç içi stoka sahiptir [13] Aşırı üretimi önler Tam zamanında üretimi gerçekleştirir Stok maliyetleri düşüktür Kriz zamanlarında riski en küçükler Kalite ve müşteri tatmini yüksektir 	<ol style="list-style-type: none"> Ölçek ekonomisinden dolayı birim maliyetler oldukça düşüktür Doğru ve tutarlı tahminlerle yüksek satışlar elde edilebilir Birim maliyetler en küçüklendiği için fiyatlandırma avantajı vardır Müşteri üretim için beklemez, her zaman satılacak bir stok vardır
Riskler	<ol style="list-style-type: none"> Güvenlik stoku gerektirebilir Tam zamanında üretim ve stoksuz çalışma işgücü üzerinde baskı oluşturur Pazar şartları aşırı dalgalı ise yığılma veya boş beklemler oluşabilir 	<ol style="list-style-type: none"> Talep yetersizse stoka üretim yapılır Kriz zamanında büyük riske sahiptir Büyük stok alanlarına ihtiyaç vardır Yüksek hata oranı maliyeti artırabilir Talep belirsizliği en büyük risktir Kalite genelde düşüktür

Klasik çekme yaklaşımında istasyonlar arasındaki sinyaller kanban kartları ile yönetilir. Literatürde kanban dışında başka çekme yaklaşımları da mevcuttur. Farklı çekme yaklaşımları geliştirilmesinin en önemli nedenleri (1) kanbanın bazı durumlarda iyi çalışmaması ve (2) diğer çekme yaklaşımlarının kanban sistemine göre bazı özel avantajlara sahip olmasıdır. Ancak literatür ve uygulamalar incelendiğinde çekme sisteminin genelde kanban ile aynı anlamda kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle birçok uygulamada uygun olmamasına rağmen kanban sisteminin kullanıldığı ve çekme sisteminden beklenen avantajların elde

edilemediği görülmüştür. Bu durum, kanbanın ve yalın üretimin avantajlarının sorgulanmasına neden olmuştur. Bu çalışmada kanban, CONWIP ve POLCA çekme yaklaşımları ve bu yaklaşımların kullanım şartları incelenmiş ve en uygun çekme sisteminin seçilmesine yardımcı olabilecek bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

2. KANBAN SİSTEMİ (KANBAN SYSTEM)

Çekme sistemlerinin en bilineni kanbandır. Kanban görsel kontrolü sağlayan bir kart sistemidir [14]. Kanban, çekme sistemi ile aynı anlamda kullanılsa da bu iki kavramı birbirinin yerine kullanmak çok doğru değildir. Çünkü literatürde kanbanın yanı sıra başka çekme sistemleri de mevcuttur. Kanban dışında farklı çekme sistemleri geliştirilmesinin temel nedeni kanbanın bazı üretim ortamlarında iyi çalışmamasıdır. Kanban sistemi özellikle aşağıda belirtilen üretim ortamlarında iyi çalışmaz:

(a) *Üretim hacminde büyük dalgalanmalar olması*: Kanban sistemi hacim dalgalanmalarına karşı çevik bir sistem değildir. Bu nedenle kanban sisteminin uygulanabilmesi için üretim hacminin stabil olması gereklidir. Eğer üretim hacmi stabil değilse istasyonlar arasında darboğazlar oluşabilir ve darboğazları önlemek için konulan ara stoklar sistemin karmaşıklaşmasına yol açabilir.

(b) *Ürün çeşidinde dalgalanmalar olması* [15, 16]: Kanban sistemi ürün çeşidinin stabil olduğunu ve aynı ürünlerin tekrarlı olarak üretildiğini varsayar. Eğer ürün çeşidi çok sık değişiyorsa kanban sistemi ve bu sistemin tedarikçileri bu değişime uyum sağlayamayabilir. Bu nedenle kanban sistemi atölye tipi üretimden daha ziyade parti tipi üretim gibi tekrarlı üretim yapan üretim ortamlarına daha uygundur [17].

(c) *Sık sık arıza, duruş ve beklenmeyen durumlarla karşılaşan sistemler*: Kanban sisteminde sık görülen arıza, uzun duruşlar ve beklenmeyen durumlar bütün sistem üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Bu yüzden düşük güvenilirliğe sahip sistemler kanban sistemi için büyük bir risktir.

(d) *Tek bir ürünün kitlesel üretimini yapan sistemler*: Eğer bir üretim sistemi tek bir ürün için kitlesel üretim yapıyor ve bu ürüne de büyük bir müşteri talebi varsa kanban sistemi üretim akışında kesilmelere neden olabilir. Böyle bir üretim ortamı için itme sistemi daha uygundur.

(e) *Sık sık darboğazla karşılaşan sistemler*: Darboğazların oluşturduğu sorunlar genelde üretim akışında kesilmeye ve gecikmeye neden olur. Bir üretim sisteminde darboğaz oluşursa bu darboğaz giderilene kadar kanban sistemi çalışmaz.

(f) *Çok kısa veya çok uzun üretim süreli ürünlerin varlığı*: Eğer bir üretim sisteminde çok kısa üretim süreli ürünler varsa ve bu ürünlere talep yüksekse kanban sistemi üretim akışını yavaşlatabilir. Bununla beraber bir üretim sisteminde çok uzun üretim süreli ürünler varsa kanban sistemi hacim ve ürün değişimi üzerindeki hassasiyetini kaybedebilir (örneğin pazardaki ani değişimler gibi) ve böylece bu değişimlere hızlı cevap veremez.

(g) *Sık sık istisnai durumla karşılaşan üretim sistemleri*: Kanban sistemi; beklenmeyen arıza, ani ürün değişimi ve beklenmeyen sipariş iptali gibi durumlara karşı çevik bir yaklaşım değildir. Bu gibi durumlar tüm sistemin durmasına neden olabilir.

(i) *Uzun hazırlık(set-up) süreleri*: Eğer bir üretim hattında uzun hazırlık sürelerine sahip farklı ürünler üretiliyorsa bu hat yavaşlamaya ve etkililiğini kaybetmeye başlar. Eğer hat üzerine farklı ve uzun hazırlık sürelerine sahip ürünler sık sık giriş yapıyorsa kanban sistemi üretimde kesintiye yol açar, böylece kanban etkinliğini ve etkililiğini kaybeder.

(j) *Çevik üretim yaklaşımı gerektiren üretim sistemleri*: Bu tip üretim sistemlerinde kanban sistemini tercih etmemek daha makuldür. Çünkü kanban sistemi ürün tipi ve ürün hacmi açısından aşırı dalgalı ortamlara uygun değildir, yani kanban sistemi çevik bir yaklaşım değildir. Bu özellik kanban sisteminin en önemli dezavantajlarından biridir.

(k) *Tedarikçilerin durumu*: Kanban sistemi tam zamanında üretimi gerçekleştiren yaklaşımlardan biridir [19]. Eğer bir veya daha fazla tedarikçi tam zamanında üretim yeteneğine sahip değilse kanban sistemi uygun bir şekilde çalışmayacaktır. Bu nedenle kanban sistemi tedarikçilerin kapasitesi açısından da değerlendirilmelidir.

Kanban sisteminde istasyonlar arasındaki süreç içi stoku kontrol etmek için üretim ve çekme kanbanı gibi çeşitli kanban kartı türleri kullanılır [18]. Kanban sistemi bu kartları istasyonlar arasında çalıştırır, bu nedenle kanban kartları istasyon çiftleri dışına çıkmaz. Böylece istasyon çiftleri arasındaki süreç içi stok sıkı bir şekilde kontrol edilmiş olur. Bir kanban sistemi tek veya çift kart kanban sistemini kullanabilir. Tek kart sistemi sadece üretim kanbanını (veya çekme kanbanını) kullanırken, çift kart kanban sistemi hem üretim hem de çekme kanbanını kullanır. Orijinal Toyota üretim sistemi çift kart kanban sistemini kullanmaktadır.

Kanban sisteminin beklenen avantajları sağlayabilmesi için ya kanbanın uygulanacağı ortamın uygun şekilde tasarlanması ya da kanban sisteminin sadece uygun ortamlarda kullanılması gereklidir. Aksi takdirde kanban sistemi uygun bir şekilde çalışmaz ve aşağıda sunulan avantajları göstermez. Bu avantajlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Daha etkili süreç içi stok yönetimi ile azaltılmış süreç içi stok
- Aşırı üretimin azaltılması veya önlenmesi
- Üretim hattındaki problemlerin kolay bir şekilde belirlenmesi
- Maliyetlerin azaltılması
- İstasyonlar arasında daha iyi iletişim

Kanban sisteminin bahsedilen avantajlarına rağmen bazı durumlarda kanban sisteminin iyi çalışmadığı görülmüş ve alternatif çekme sistemleri geliştirilmiştir. Unutulmaması gereken nokta, kanbanın her üretim sistemine uygun bir üretim kontrol yaklaşımı olmadığıdır.

Bu bölümde son olarak tek kart kanban ve çift kart kanban sistemleri karşılaştırılmış ve aşağıda verilen Tablo 2'deki karşılaştırma tablosu oluşturulmuştur. Bu iki çekme yaklaşımının çalışma yapısı birbirine benzese de aralarında önemli farklar vardır. Çift kart kanban daha güçlü malzeme kontrolü yaparken tek kart kanban daha basit ve daha hızlı çalışmaktadır. Ayrıca tek kart kanban çift kart kanbana göre akışı daha az kesmekte böylece akış hızını artırmaktadır.

Tablo 2. Tek kart ve çift kart kanbanın karşılaştırılması

	Tek Kart Kanban (SC)	Çift Kart Kanban (DC)
Avantajlar	Çift kart kanbana göre daha basittir ve bilgi alışverişi daha hızlıdır.	Tek kart kanbana göre istasyonlar arasındaki WIP daha sıkı şekilde kontrol edilir
	Yarı mamul, çift kart kanbana göre daha hızlı şekilde hareket edebilir, bu nedenle üretim oranı genelde çift kart kanbana göre daha yüksektir	Güçlü stok kontrolünden dolayı problemleri görmek ve çözmek tek kart kanbana göre daha kolaydır
	Düzenli ve dengeli akış olduğunda çift kart kanbana göre daha düşük WIP [29] ve daha hızlı WIP akışı gözlenir	Genelde WIP'te tek kart kanbandaki sorunlar görülmez
Dezavantajlar	Çift kart kanbana göre daha küçük ara stok alanı ihtiyacı vardır	
	İstasyon arasındaki WIP'in kontrolü çift kart kanbana göre daha zayıftır	İyi eğitilmiş operatör gerektirir
	İstasyonlarda ve akışta dengesizlik varsa WIP artışı olabilir	Tek kart kanbana göre daha fazla ara stok alanı ihtiyacı vardır
Çalışma Koşulları	Problemlerin tespiti çift kart kanbana göre daha fazla zaman alır	Kart sisteminden dolayı kesilmeler tek kart kanbana göre daha fazladır
	Birbirine çok yakın istasyonlarda iyi çalışır	İstasyonlar arasında tek kart kanbana göre daha fazla uzaklık vardır (daha büyük ara stok alanından dolayı). Özellikle kolay taşınma imkânı olmayan malzemelerin üretimi için çok uygundur

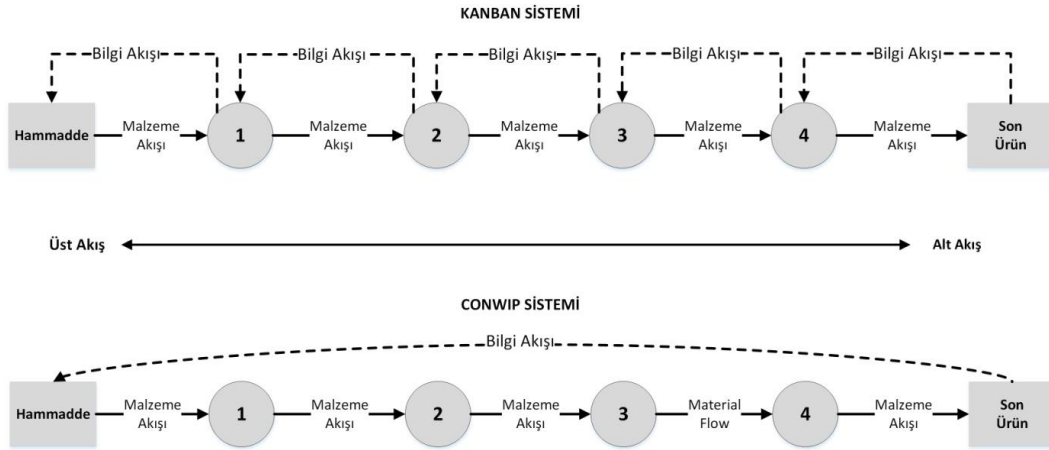
Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi çift kart kanban; WIP kontrolü çok önemli olduğunda, istasyonlar arası uzaklık nispeten fazla olduğunda ve yeterli ara stok alanının mevcut olması durumunda tercih edilmelidir. Tek kart kanban ise akışı hızlandırmak ve süreci basitleştirmek gerektiği zaman tercih edilmelidir. Genelde tek kart kanbanla üretilen ürünler çift kart kanbanla üretilene göre daha basit ürünlerdir, aksi halde karmaşık yapıdan dolayı WIP kontrolü önemli hale gelmeye başlar ve çift kart kanbana geçiş gerekli olur.

3. CONWIP SİSTEMİ (CONWIP SYSTEM)

CONWIP (Constant Work in Process), kanban gibi bir çekme sistemidir ve temel olarak süreç içi stokun kontrol edilmesine odaklanır. CONWIP, kanbanın geliştirilmiş bir formu veya çekme yaklaşımı için kanbana bir alternatif olarak düşünülebilir [17]. Kanban ve CONWIP aşağıdaki benzerliklere sahiptirler:

- İki sistem de çekme yaklaşımı ile çalışan üretim kontrol sistemidir.
- İki sistem de kart sistemlerini kullanır.
- İki sistem de süreç içi stoka odaklanır.
- İki sistem de gerçek talep tarafından tetiklenir.
- İki sistem de tam zamanında üretimde kullanılabilir.
- İki sistem de istikrarlı bir akışta iyi çalışır [18].

CONWIP sistemi, aynı kanban gibi, bir kart sistemine bağlı olarak çalışır. CONWIP ile kanban arasındaki en önemli farklılık bu kart sisteminin kullanımında ortaya çıkar. Kanban sistemi genellikle çift kart sistemini kullanırken CONWIP sadece tek kart sistemini kullanır. Ancak CONWIP ile tek kart kanban sistemi karıştırılmamalıdır. CONWIP'in tek kart sisteminde bir ürüne talep geldiğinde malzeme hattın başından sonuna kadar hattın başında ileştirilen tek kart ile hareket eder [20]. Yani CONWIP'te malzeme hattın başında ileştirilen bir kart ile son istasyona kadar bütün istasyonları ziyaret eder. CONWIP sisteminde kartlar, ürün tipine bakılmaksızın hat üzerine yeni iş veya malzeme girişini kontrol ederken kanban sisteminde kartlar belirli bir ürünün üretilmesini tetikler.

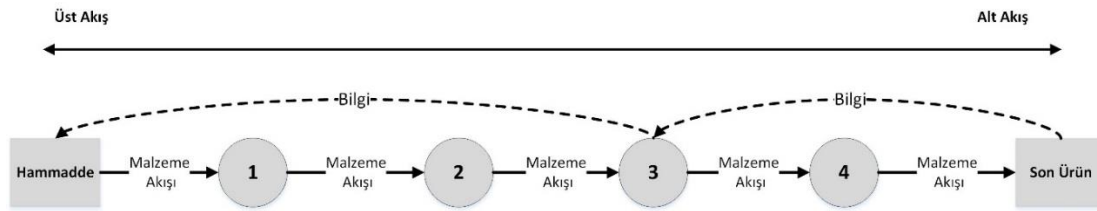


Şekil 3. CONWIP ve Kanban kart sisteminin karşılaştırılması

CONWIP'in temel özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Kanban sisteminden farklı olarak tüm hat boyunca süreç içi stoku kontrol etmeye odaklanır.
- Sabit miktardaki kartın tüm süreç boyunca hareket etmesi prensibi ile çalışır. Süreç içi stok bu sabit miktarı geçemez.
- CONWIP, ilk ve son istasyon arasında bir döngü (loop) gibi çalışır. Bu döngüde sisteme giriş izni çekme yaklaşımı ile malzemenin döngü içinde ilerlemesi ise itme yaklaşımı ile gerçekleşir. Bu nedenle bazı kaynaklarda CONWIP için hibrit (karma) bir sistem gibi atıflar yapılmıştır [21].
- Bir CONWIP döngüsü boyunca süreç içi stok sabit tutulur.
- CONWIP, esnek bir sistemdir. Süreç içindeki kart sayısı duruma göre azaltılıp artırılabilir [18]. Bu nedenle hacim esnekliğini yönetebilir.
- CONWIP, özellikle sabit rotalı, benzer süreç zamanlarına sahip, düşük hazırlıklı süreli ve düzgün süreç akışına sahip sistemler için çok uygundur [22]. Bu nedenle atölye tipi üretim yapan ortamlar için çok uygun olduğu söylenemez.

Geleneksel CONWIP sistemi, ilk ve son istasyon arasındaki süreç içi stoku kontrol eden tek döngülü bir sistemdir (Single-Loop CONWIP veya SL-CONWIP). Bir CONWIP döngüsü verilen istasyonlar boyunca süreç içi stoka sınır koyan bir yapıdır. Bir CONWIP döngüsündeki istasyonlar itme sistemi şeklinde çalışırken, sisteme malzeme giriş yetkisi çekme sistemi ile verilir [12]. Bu nedenle CONWIP hem çekme hem de itme sisteminin özelliklerine sahiptir. CONWIP sisteminin ilk ve son istasyonları kapsayan tek bir döngüden oluşma zorunluluğu yoktur. Eğer bir CONWIP döngüsü iki makine ve bir ara stoktan oluşuyorsa kanban sistemi gibi çalışmaya başlar. Bazı üretim ortamlarında, üretim sistemleri birden fazla CONWIP döngüsüne sahip olabilir. Bu tip sistemlere çok döngülü CONWIP (multi-loop CONWIP veya m-CONWIP) sistemleri adı verilir. Bir m-CONWIP şu durumlarda tercih edilmelidir: (1) Sistem içinde çoklu rotalar olduğunda, (2) sistemde farklı parçalar üretildiğinde ve (3) bir CONWIP döngüsü yönetilemeyecek kadar uzun olduğunda.



Şekil 4. Çok döngülü CONWIP örneği

CONWIP'in kanban sistemi üzerindeki avantajları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- CONWIP, yüksek hacimli üretim yapan sistemler için daha uygundur. Böylece hat üzerinde sık sık kesilmeler olmaz.
- CONWIP, ürün çeşidi bakımından kanbandan daha esnektir ve bu nedenle siparişe göre üretim ortamlarında kanbandan daha iyi çalıştığı raporlanmıştır [24]. Kanban sisteminde ürün varyasyonun büyük olması beklemeye, aç kalmaya (starving) veya bloklanmaya neden olabilir.
- Tek veya az sayıda döngüden dolayı, CONWIP'in uygulanması kanbana göre daha kolaydır [23].
- Birçok çalışmada, CONWIP'in kanbana göre daha büyük bir çıktı oranına sahip olduğu gösterilmiştir.
- Tek kart sisteminden dolayı kanbana göre daha az bilgi akışı vardır.
- Hata özgü kart sistemi ve işleri sıraya koyma özelliğinden dolayı talepteki değişime daha etkili şekilde cevap verebilir.
- Malzemelerin itme gibi hareket etmesinden dolayı seri üretim ortamlarında oldukça iyi çalışır.
- Süreç içi stok sabit olduğu için akış süresi daha kolay tahmin edilebilir [17].

CONWIP aşağıda sunulan dezavantajlara da sahiptir:

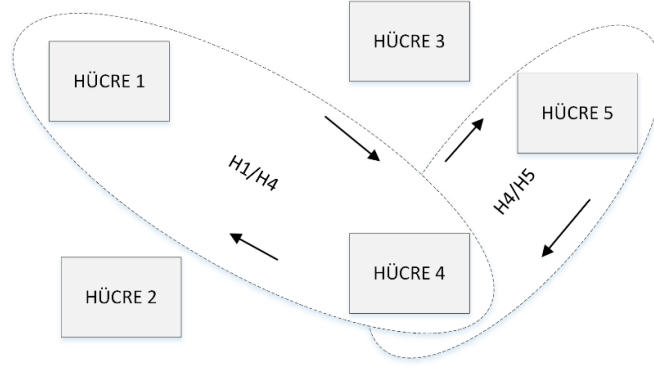
- CONWIP, hata girmeyi bekleyen malzemeler için bir öncelik planlaması yapılmasına ihtiyaç duyar. Bu nedenle kanbana göre daha fazla insan kontrolü gerektirir.
- İstasyonlar arasında kanban kadar güçlü iletişim yoktur. Bu nedenle sistem içindeki süreç içi stok seviyesi kanban kadar güçlü bir şekilde kontrol edilemez. Bu durumda itme sisteminin problemleri görülebilir.

4. POLCA SİSTEMİ (POLCA SYSTEM)

POLCA (Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization), Rajan Suri tarafından 1998 yılında geliştirilmiş kanban ve MRP'nin özelliklerini birleştiren hibrit bir çekme sistemidir [25]. POLCA sisteminde aynen kanban ve CONWIP gibi malzeme akışı bir kart sistemi ile kontrol edilir. Bu sistemde kullanılan kartlara POLCA kartı denir. POLCA kartları, istasyon, hücre veya iş merkezleri arasındaki malzeme akışının kontrolünü ve iletişimi sağlar.

POLCA sisteminde, malzemenin üretim izni MRP ile gerçekleşir. Ancak bu izin, bir sonraki istasyonun durumunu incelemeyi sürekli olarak ileri iten geleneksel MRP'deki gibi çalışmaz. POLCA'daki MRP sistemi sadece malzemenin ilgili istasyondaki işlem yetkisini verir, ancak ilgili istasyon

veya hücre sadece ilgili POLCA kartı mevcutsa bu malzeme üzerinde işlem yapabilir. Bu nedenle POLCA sisteminde üretim yetkisi itme sistemi ile üretim alanında işlem yapma yetkisi ise çekme sistemi ile gerçekleşir. Bir malzeme için üretim yetkisi verilmesine rağmen o istasyonda ilgili POLCA kartı yoksa bu malzeme ilgili POLCA kartı mevcut olana kadar üretim alanına girmeden bekler. POLCA kartı sadece iki istasyon veya bir hücre çiftine atanır ve sadece bu iki istasyon/hücre çifti arasında bir döngü oluşturur. Bir POLCA kartı başka istasyon/hücre çiftleri için kullanılmaz.



Şekil 5. POLCA kartlarının çalışma yapısı

POLCA, çok çeşitli ürünlerin üretilbildiği hızlı tepkisel üretim (Quick Response Manufacturing) ortamlarına uygun bir çekme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımla hızlı tepkisel üretimin gerçekleşebilmesi için ön gerekliliklerden biri, üretim ortamının hücresele üretime uygun hale getirilmesidir [25]. Bu nedenle POLCA ile ilgili çalışmalar incelendiğinde üretimin genelde hücrelerde yapıldığı görülür. Hücresele yapı, bant veya hat sistemlerinin aksine çok çeşitli ürün üretimine imkân verir.

POLCA, kanban ve CONWIP'le bazı benzerliklere sahip olmakla beraber sadece ona özgü olan ve diğer çekme sistemlerine göre üstünlük sağlayan bazı özelliklere de sahiptir. POLCA, süreç içi stoka bir sınırlama getirme açısından kanban ve CONWIP'e benzer. Ayrıca POLCA, aynı kanban ve CONWIP gibi iletişim ve malzeme hareketi için bir kart sistemi kullanır. POLCA'nın kart sistemi belirli bir rotaya (döngüye) özgü olması açısından CONWIP'e, iki hücre arasında dolaşması bakımından da kanbana benzer. Ancak POLCA'nın bu iki çekme yaklaşımına göre önemli farklılıkları mevcuttur. Bu farklılıklar: (1) POLCA istasyon/hücre çiftlerine atanırken, kanban ürünlere CONWIP ise bir hata veya döngüye atanır, (2) POLCA kartı iki istasyon/hücre arasında kapasite sinyali olarak çalışırken, kanban akışı ve süreç içi stoku kontrol etmek için stok ve üretim sinyali olarak çalışır, CONWIP kartları ise daha ziyade kapasite sinyali olarak çalışır [26], (3) POLCA kartları belirli iki istasyon/hücre arasında çalışırken, kanban kartları genelde bir istasyon ile bir ara stok veya süpermarket arasında, CONWIP ise bir CONWIP döngüsü boyunca çalışır, (4) POLCA kartları hücre çiftlerine (iki hücre arasındaki döngüye) özgü iken kanban kartları ürüne özgü, CONWIP ise belirli bir hata (döngüye) özgüdür.

POLCA'nın kanban ve CONWIP üzerindeki en önemli avantajı, küçük lotlarla çok çeşitli ürünler üretebilen siparişe göre üretim (make-to-order) ve siparişe göre tasarım (engineered-to-order, ETO) ortamlarında kullanılabilmesidir [27]. Kanban ve CONWIP bu tür kısa dalgalanmalara çevik bir şekilde cevap veremez. POLCA'nın diğer avantajları ise: (1) esnek rotalamaya izin verir (kanban bu konuda çok stabildir, CONWIP ise çok döngülü olduğunda uyum gösterebilir), (2) ürün çeşidindeki değişimleri yönetebilir (CONWIP kısmen uygundur), (3) tepkisel üretim ve hücresele imalat ortamlarında kullanılabilir.

POLCA sistemi bazı dezavantajlara da sahiptir. Örneğin POLCA'nın uygulanması için üretim alanında hücresele bir organizasyon kurulması gerekir ki, genelde hücrelerin kapasite kullanımı dengesiz ve düşüktür. Ayrıca hücrelerde yaşanabilecek sorunlar ve hücrelerdeki iş yüklerinin dengesiz olması süreç içi stokun ve üretim sürelerinin artmasına neden olabilir. POLCA, kanban ve CONWIP kadar hacim esnekliğine de sahip değildir. POLCA'nın yapısı ürün çeşitliliğine odaklandığı için akışta aşırı kesilmeye neden olabilir.

5. ÇEKME SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ (COMPARISON OF PULL SYSTEMS AND A PROPOSAL OF A DECISION SUPPORT SYSTEM)

Üretim ortamına ve pazar şartlarına uygun çekme sisteminin seçilmesi etkili üretim sistemleri geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu başlıkta, kanbana alternatif olarak önerilen CONWIP ve POLCA çekme sistemleri incelenerek karşılaştırılmalı bir değerlendirme yapılmış ve karar vericilere yardımcı olabilecek bir karar destek sistemi önerisi sunulmuştur.

Literatürde çekme sistemlerinin ikili karşılaştırmaları yer almakla birlikte [27,28], karşılaştırmaların çok çeşitli kriterlere göre yapılmadığı görülmüştür. Kapsamlı karşılaştırmaların bulunmaması üretim sistemlerinde yanlış çekme sistemlerinin kullanılmasına neden olmaktadır. Ayrıca deneyimsiz karar vericiler tarafından bazı kriterlerin değerlendirilmesinin güç olması bu sistemler arasındaki farkların ayırt edilmemesine ve yanlış tercihlere yol açmaktadır. Bu çalışma literatürdeki bu eksikliği kapatmayı amaçlamaktadır.

Literatürdeki en popüler çekme sistemleri olan kanban, CONWIP ve POLCA'nın çeşitli kriterler açısından karşılaştırılması Tablo 3'te sunulmuştur. Bu tablodaki çekme sistemlerine ilave olarak literatürde başka çekme sistemleri de mevcuttur. Bu çalışmada literatürde en fazla çalışılan çekme sistemlerine odaklanılmıştır.

Tablo 3. En çok çalışılan çekme sistemlerinin çeşitli kriterlere göre karşılaştırılması

Karşılaştırma Kriteri	Kanban (SC)	Kanban (DC)	CONWIP (SL)	m-CONWIP	POLCA
Genel tesis yerleşimi*	Hat	Hat	Hat	Hat	Hücresele
Ürün esnekliği**	Düşük [30]	Düşük [30]	Düşük/Orta ¹ [18]	Düşük/Orta [28]	Yüksek [25]
Ürün hacmi esnekliği***	Orta/Yüksek	Orta/Yüksek	Orta/Yüksek ² [23]	Orta/Yüksek	Düşük/Orta
Ürün dalgalanmalarına uyum yeteneği ****	Düşük	Düşük	Düşük/Orta	Düşük/Orta	Yüksek
Hacim dalgalanmasına uyum yeteneği *****	Düşük/Orta	Düşük	Düşük/Orta	Düşük/Orta	Düşük
En uygun pazar şartları	Stabil	Stabil	Stabil/Kısmen dinamik	Stabil/Kısmen dinamik	Dinamik
WIP'in kontrol bölgesi	İki istasyon arası	İki istasyon arası	Döngü boyunca	Döngü boyunca	İki hücre arasında
Sistemdeki WIP seviyesi	Düşük/Çok düşük	Çok düşük [20]	Düşük/Orta [20]	Düşük/Orta [31]	Orta/Yüksek
Akış hızı	Orta/Hızlı	Orta/Hızlı	Orta/Hızlı	Orta/Hızlı	Düşük/Orta
Farklı rota esnekliği	Zayıf	Zayıf	Zayıf/Orta	Zayıf/Orta	Yüksek
Hücresele üretime uygunluk	Montaj hücresi ve ürün odaklı hücreye uygun	Montaj hücresi ve ürün odaklı hücreye uygun	Montaj hücresi ve ürün odaklı hücreye uygun	Montaj hücresi ve ürün odaklı hücreye uygun	İmalat hücresine ve esnek üretim hücresine uygun
Çevik üretime uygunluk	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil/ Kısmen	Uygun [25]
Atölye tipi üretime uygunluk	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil/ Kısmen [17, 24]	Uygun değil/ Kısmen [17]	Uygun [27]
Parti üretimine uygunluk	Uygun [26]	Uygun [26]	Uygun [32]	Uygun	Uygun değil/Kısmen
Kartların atanma yeri	Ürün	Ürün	Döngü	Döngü	Hücre çiftleri [33]
Sinyal türü	Envanter yenileme [25]	Envanter yenileme [25]	Kapasite [26]	Kapasite	Kapasite

SC: Tek kart (single card), DC: Çift kart (dual card), SL: Tek döngü (single loop)

*: Uygulamada en çok karşılaşılan yerleşim düzeni, **: Farklı ürünler üretebilme yeteneği, ***: Değişik üretim hacimlerinde çalışabilme yeteneği, ****: Ürün tipindeki ani değişimlere uyum, *****: Ürün hacmindeki ani değişimlere uyum

¹: Koyu (bold) karakterle yazılanlar en sık görülen veya normalde beklenen durumu ifade etmektedir.

²: Eğer akış ve iş yükleri düzenli hale getirilebilirse parti tipi üretim ile yüksek hacimde ürün üretilebilir ve tek kart kanbana göre daha büyük ürün hacmi esnekliğine sahip olabilir

Yukarıda verilen karşılaştırma tablosu literatürdeki çeşitli kaynaklara dayandırılarak oluşturulmuştur. Bununla beraber bazı çalışmalarda karşılaştırmalar için çelişkili ifadelerin yer aldığı görülmüştür. Bu çelişkinin en önemli nedeni, çekme yaklaşımlarının farklı üretim sistemlerinde farklı performans değerlerine sahip olmasıdır. Örneğin, Gstettner ve Khun (1996) [35] kanbanın CONWIP'ten daha az WIP ile çalıştığını ifade ederken, Spearman ve arkadaşları (1990) [17] CONWIP'in kanbandan daha düşük WIP ile çalıştığını ifade etmiştir. Bu nedenle bu çalışmadaki karşılaştırmalarda keskin ifadeler kullanılmamıştır. Karar vericilerin kendi sistemlerine uygun çekme sistemine karar verirken bu bulanıklığı göz önünde bulundurması gerekir. Bu bulanık karar verme sürecine yardımcı olmak amacı ile bu çalışmada bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen karar destek sistemi bulanık mantık temeline dayanmış olup MATLAB ile simüle edilmiştir. Bu bulanık sistemde Mamdani çıkarım yöntemi ve ağırlıklı ortalama durulama yöntemi kullanılmıştır.

Önerilen karar destek sistemi üç girdi ve bir çıktıdan oluşmaktadır. Girdiler sıra ile ürün çeşidi (ÜÇ), saatlik çıktı sayısı (ÇS) ve pazar şartları (PŞ). Girdilerin ve çıktının ayrıntılı açıklaması Tablo 4'te verilmiştir. Sistemin çıktısı ise uygun üretim sistemi (ÜS)'dir.

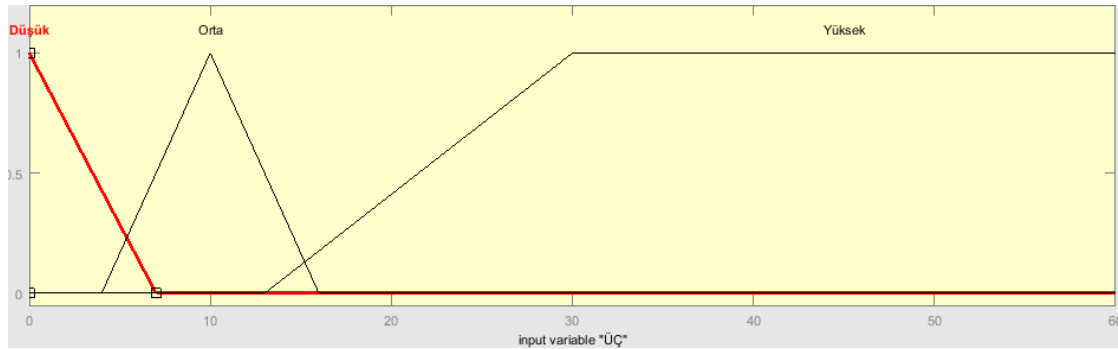
Tablo 4. Girdilerin ve çıktının tanımlanması

Girdi		Tanım
1	Ürün çeşidi (ÜÇ)	Hat/atölye/üretim yapısının kapsamlı kurulum (set-up) gerektirmeden aynı anda üretebileceği farklı ürün çeşidinin sayısı
2	Saatlik çıktı sayısı (ÇS)	Hat/atölye/üretim yapısının saatlik çıktı/ürün sayısı
3	Pazar şartları (PŞ)	Mevcut ürün çeşidi dışında aylık ilk defa üretilen ve kurulum gerektiren yeni ürün çeşidi sayısı
Çıktı		Tanım
1	Üretim sistemi (ÜS)	Üretime uygun çekme sistemi

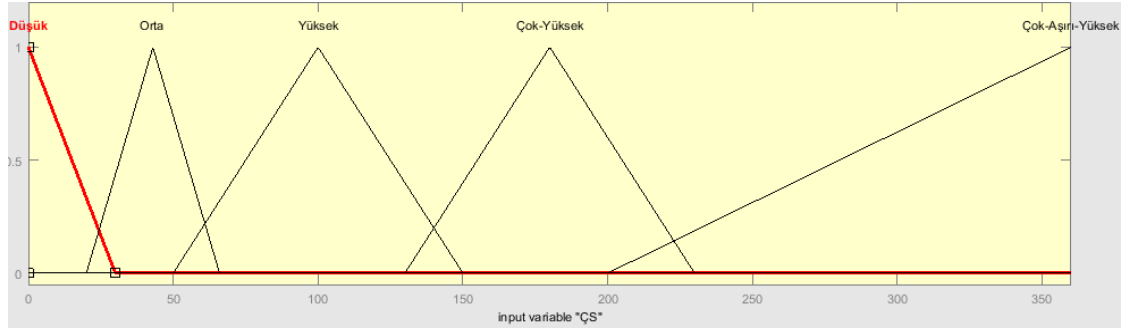
Tablo 5. Üyelik fonksiyonlarının dilsel değişkenleri

No	Girdiler			Çıktı
	ÜÇ	ÇS	PŞ	ÜS
1	Düşük	Düşük	Stabil	KANBAN
2	Orta	Orta	Orta	CONWIP-KANBAN
3	Yüksek	Yüksek	Dinamik	CONWIP
4		Çok-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
5		Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA

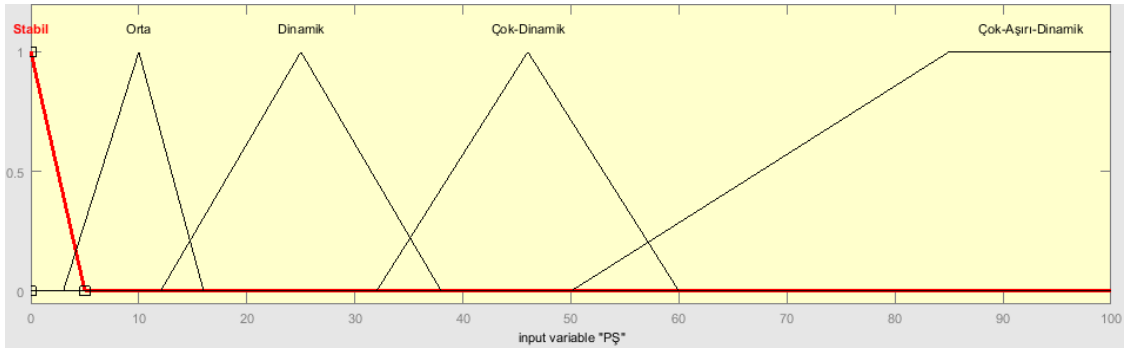
Tablo 5'te üyelik fonksiyonlarında kullanılan dilsel değişkenler sunulmuştur. Çıktı üyelik fonksiyonunda yer alan "diğer" dilsel değişkeni, üyelik fonksiyonundaki mevcut çekme sistemleri dışında başka seçeneklerin de düşünülmesi gerektiğini ifade etmektedir. Diğer seçenekler tamamen farklı çekme yaklaşımları olabilir. Girdilerin ve çıktının MATLAB ile oluşturulmuş üyelik fonksiyonları aşağıda sunulmuştur. olabileceği gibi mevcut çekme sistemlerinin hibritlenmesi veya geliştirilmesi şeklinde de



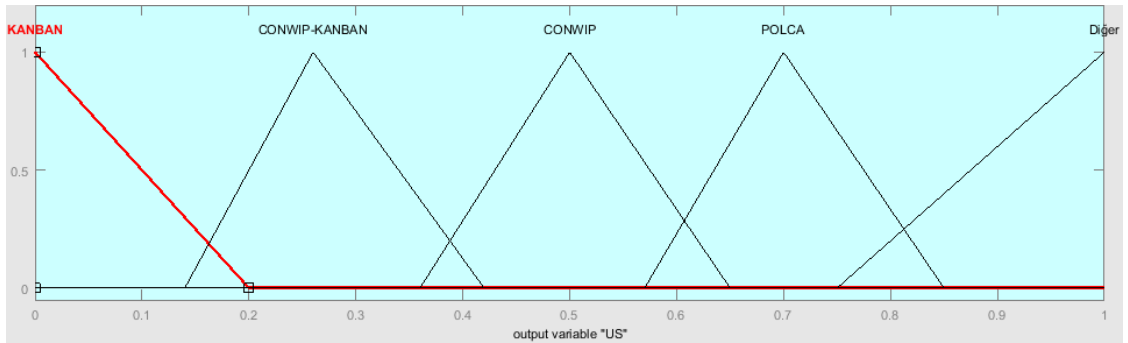
Şekil 6. Ürün çeşidi (ÜÇ) için üyelik fonksiyonu



Şekil 7. Saatlik çıktı sayısı (ÇS) için üyelik fonksiyonu



Şekil 8. Pazar şartları (PŞ) için üyelik fonksiyonu



Şekil 9. Çıktı (ÜS) için üyelik fonksiyonu

Geliştirilen bulanık sistem için 75 adet kural girilmiş olup, bu kurallar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Geliştirilen bulanık sistemde kullanılan kurallar

No	Girdiler			Çıktı ÜS
	ÜÇ	ÇS	PŞ	
1	Düşük	Düşük	Stabil	KANBAN
2	Düşük	Düşük	Orta	CONWIP-KANBAN
3	Düşük	Düşük	Dinamik	CONWIP
4	Düşük	Düşük	Çok-Dinamik	POLCA
5	Düşük	Düşük	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
6	Düşük	Orta	Stabil	KANBAN
7	Düşük	Orta	Orta	CONWIP-KANBAN
8	Düşük	Orta	Dinamik	POLCA
9	Düşük	Orta	Çok-Dinamik	POLCA
10	Düşük	Orta	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
11	Düşük	Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN

12	Düşük	Yüksek	Orta	CONWIP
13	Düşük	Yüksek	Dinamik	CONWIP
14	Düşük	Yüksek	Çok-Dinamik	POLCA
15	Düşük	Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
16	Düşük	Çok-Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN
17	Düşük	Çok-Yüksek	Orta	CONWIP
18	Düşük	Çok-Yüksek	Dinamik	POLCA
19	Düşük	Çok-Yüksek	Çok-Dinamik	POLCA
20	Düşük	Çok-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
21	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Stabil	CONWIP
22	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Orta	CONWIP
23	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Dinamik	Diğer
24	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
25	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
26	Orta	Düşük	Stabil	CONWIP-KANBAN
27	Orta	Düşük	Orta	CONWIP
28	Orta	Düşük	Dinamik	POLCA
29	Orta	Düşük	Çok-Dinamik	POLCA
30	Orta	Düşük	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
31	Orta	Orta	Stabil	CONWIP-KANBAN
32	Orta	Orta	Orta	CONWIP
33	Orta	Orta	Dinamik	POLCA
34	Orta	Orta	Çok-Dinamik	POLCA
35	Orta	Orta	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
36	Orta	Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN
37	Orta	Yüksek	Orta	CONWIP
38	Orta	Yüksek	Dinamik	POLCA
39	Orta	Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
40	Orta	Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
41	Orta	Çok-Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN
42	Orta	Çok-Yüksek	Orta	CONWIP
43	Orta	Çok-Yüksek	Dinamik	Diğer
44	Orta	Çok-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
45	Orta	Çok-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
46	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN
47	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Orta	CONWIP
48	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Dinamik	Diğer
49	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
50	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
51	Yüksek	Düşük	Stabil	POLCA
52	Yüksek	Düşük	Orta	POLCA
53	Yüksek	Düşük	Dinamik	POLCA
54	Yüksek	Düşük	Çok-Dinamik	POLCA
55	Yüksek	Düşük	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
56	Yüksek	Orta	Stabil	POLCA
57	Yüksek	Orta	Orta	POLCA
58	Yüksek	Orta	Dinamik	POLCA
59	Yüksek	Orta	Çok-Dinamik	POLCA
60	Yüksek	Orta	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
61	Yüksek	Yüksek	Stabil	POLCA
62	Yüksek	Yüksek	Orta	POLCA
63	Yüksek	Yüksek	Dinamik	POLCA
64	Yüksek	Yüksek	Çok-Dinamik	POLCA
65	Yüksek	Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
66	Yüksek	Çok-Yüksek	Stabil	Diğer
67	Yüksek	Çok-Yüksek	Orta	Diğer
68	Yüksek	Çok-Yüksek	Dinamik	Diğer
69	Yüksek	Çok-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
70	Yüksek	Çok-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
71	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Stabil	Diğer
72	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Orta	Diğer
73	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Dinamik	Diğer
74	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
75	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer

6. GELİŞTİRİLEN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN TESTİ (TESTING OF THE DEVELOPED DECISION SYSTEM)

Bu başlıkta, geliştirilen karar destek sisteminin performansı sanal test verileri kullanılarak konu ile ilgili bir uzmanla beraber değerlendirilmiştir.

Tablo 3'e göre, dinamik bir pazarda bulunan ve çevik üretim yaklaşımı kullanan bir firmanın kanban yerine POLCA sistemine odaklanması gerekir. Yine bu tablo incelendiğinde CONWIP'in ürün ve hacim dalgalanmaları açısından kanban sistemine göre daha dirençli olduğu görülmektedir. Bununla beraber WIP kontrolü açısından en sıkı yaklaşım kanbandır. Akış hızı düşünüldüğünde kitlesel üretime yaklaşmak için en uygun çekme sistemleri tek kart kanban ve CONWIP'tir. Atölye tipi üretim yapıyorsa en uygun çekme sistemi POLCA'dır. Bununla beraber CONWIP'in kısmen de olsa atölye tipi ortamlarda çalışma yeteneğinin olduğu görülmektedir. Bu tip ortamlarda kanban uygulanması sakıncalıdır, çünkü kanban stabil pazar şartları için daha uygundur.

Sistemin testi için 30 tane özel test verisi oluşturulmuştur. Bu test verileri istisnai durumlar ve sistemin hedefleri doğrultusunda hazırlanmıştır. Girdiler önce bu konudaki bir uzmana sunulmuş ve uzmanın bu girdileri değerlendirmesi istenmiştir. Uzman kişinin bu girdilere göre cevapları Tablo 7'de "beklenen sonuç" isimli sütunda sunulmuştur. Daha sonra geliştirilen sistemin bu girdiler için oluşturduğu kesin değer "ÜS" isimli sütunda ve sistemin önerisi de "sistemin önerisi" isimli sütunda sunulmuştur.

Tablo 7. Test verileri için sonuçlar

No	ÜÇ	ÇS	PŞ	ÜS	Sistemin Önerisi	Beklenen Sonuç
1	8	60	8	0.504	CONWIP	CONWIP
2	10	120	8	0.504	CONWIP	CONWIP
3	25	120	4	0.709	POLCA	POLCA veya Diğer
4	2	30	5	0.277	CONWIP-KANBAN	CONWIP veya KANBAN
5	20	6	2	0.708	POLCA	POLCA veya CONWIP
6	25	6	25	0.707	POLCA	POLCA
7	8	45	30	0.707	POLCA	POLCA
8	3	90	2	0.275	CONWIP-KANBAN	CONWIP veya KANBAN
9	15	100	25	0.709	POLCA	POLCA
10	60	60	7	0.709	POLCA	POLCA
11	11	200	69	0.907	Diğer	POLCA veya Diğer
12	60	120	45	0.707	POLCA	POLCA
13	45	60	30	0.709	POLCA	POLCA
14	1	90	2	0.275	CONWIP-KANBAN	KANBAN
15	6	90	9	0.504	CONWIP	CONWIP
16	8	10	8	0.504	CONWIP	CONWIP
17	3	3	3	0.079	KANBAN	KANBAN
18	25	25	25	0.709	POLCA	POLCA
19	6	240	4	0.375	CONWIP-KANBAN	CONWIP
20	20	200	16	0.896	Diğer	Diğer
21	4	240	10	0.504	CONWIP	CONWIP
22	2	2	40	0.708	POLCA	POLCA
23	13	60	15	0.621	POLCA	POLCA veya CONWIP
24	3	300	30	0.909	Diğer	Diğer
25	60	190	60	0.894	Diğer	Diğer
26	1	120	1	0.275	CONWIP-KANBAN	CONWIP veya KANBAN
27	2	90	1	0.274	CONWIP-KANBAN	KANBAN
28	10	10	10	0.504	CONWIP	CONWIP
29	20	20	20	0.709	POLCA	POLCA veya CONWIP
30	7	7	7	0.504	CONWIP	CONWIP

Geliştirilen sistem 23 test verisine uzmanla tam olarak aynı cevabı üretmiş, 7 test verisinde ise uzmanın cevabına uygun alternatiflerden birini sunabilmiştir. Böylece geliştirilen sistem 30 test verisinde de bir uzman gibi davranarak kullanıcıya doğru cevaplar üretebilmiştir.

7. SONUÇ (CONCLUSION)

Kanban sistemi temel olarak stabil ortamlardaki tekrarlı üretimlere uygun bir çekme sistemi olup değişkenliği yönetmede çok zayıftır. Kanbanın bu dezavantajlarının üstesinden gelmek için CONWIP [17] ve POLCA [4] gibi çekme sistemleri önerilmiştir [34]. Bu iki çekme sistemine ilave olarak literatürde çok sayıda çekme sistemi önerilmiştir. Ancak literatür incelendiğinde kanban, CONWIP ve POLCA'nın diğer çekme sistemlerine göre daha fazla çalışıldığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, bahsedilen üç çekme sistemi literatürdeki simülasyon ve araştırma çalışmalarına bağlı olarak karşılaştırılmış ve sonuçlar bir tabloda sunulmuştur. Ayrıca literatürde bu çekme sistemlerinin yanlış kullanımı önlemek için bir bulanık sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin performansı test verileri ile değerlendirilmiş ve istisnai durumlar ve hedef problemlere uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir. Önerilen sistemin uzman bilgisini işleyebilmesi sayesinde üretim alanındaki özellikle uzman olmayan karar vericilere yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Böylece yanlış çekme sistemi için zaman ve para harcanmamış olacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, geliştirilen modele yeni girdiler ve yeni çekme sistemleri eklenmesi düşünülmektedir. Özellikle talep değişkenliğinin ilave bir girdi olarak modele eklenmesi ile çalışmanın karar verme yeteneğinin artacağı düşünülmektedir. Ayrıca üretim ve hizmet sistemlerindeki aşırı bulanıklık düşünüldüğünde bulanık mantık Tip-1 yerine bulanık mantık Tip-2'nin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] C. Karrer, Engineering Production Control Strategies: A Guide to Tailor Strategies that Unite the Merits of Push and Pull, Springer-Verlag Berlin, 2012.
- [2] T. Fujimoto, The Birth of Lean, Conversations with Taiichi Ohno, Eiji Toyoda and other figures who shaped Toyota management, Lean Enterprise Institute, USA, 2009.
- [3] A. Puchkova, J. Le Romancer, D. McFarlane, Balancing Push and Pull Strategies within the Production System. IFAC-PapersOnLine, 49: 2 (2016) 66-71.
- [4] R. Suri, Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times, Productivity Press, Portland, USA, 1998.
- [5] J. J. A. Leeman, Supply Chain Management: Fast, Flexible Supply Chains in Manufacturing and Retailing, Institute for Business Process Management, Germany, 2010.
- [6] D. Minnich, F. H. Maier, Responsiveness and Efficiency of Pull-Based and Push-Based Planning Systems in the High-Tech Electronics Industry, 25th International Conference of the System Dynamics Society, (2007) 3035–3067.
- [7] M. C. Bonney, A. Zhang, M. A. Head, C. C. Tien, R. J. Barson, Are push and pull system really so different?. International Journal of Production Economics, 59: 1 (1999) 53-64.
- [8] J. Teeravaraprug, S. Stapholdecha, Performance Analysis of Push, Pull, and Mixed Systems. Thammasat Int. J. Sc. Tech., 9: 4 (2004) 29–36.
- [9] P. M. Gonçalves, Demand Bubbles and Phantom Orders in Supply Chains, Doctoral Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2003.
- [10] S. L. David, P. Kaminsky, E. Simchi-Levi, Designing and managing the supply chain: Concepts,

- strategies, and case studies, 2nd ed., New York, 2003.
- [11] O. Ghrayeb, N. Phojanamongkolkiij, B. A. Tan, A hybrid push/pull system in assemble-to-order manufacturing environment. *J Intell Manuf*, 20 (2009) 379-387.
- [12] W. J. Hopp, M. L. Spearman, *Factory Physics*, 3rd edition. Long Grove, Illinois: Waveland Press Inc, USA, 2008.
- [13] W. J. Hopp, M. L. Spearman, R. D. Irwin, *Factory Physics*, Chicago, IL, USA, 1996.
- [14] J. Nicholas, *Lean Production for Competitive Advantage: A Comprehensive Guide to Lean Methodologies and Management Practices*, CRC Press, USA, 2010.
- [15] Y. Monden, *Toyota Production System: Practical Approach to Production Management*, Industrial Engineering and Management Press, Atlanta, 1983.
- [16] M. Stevenson, L. C. Hendry, B. G. Kingsman, A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research*, 43: 5 (2005) 869-898.
- [17] M. L. Spearman, D. L. Woodruff, W. J. Hopp, CONWIP: a pull alternative to kanban. *Int. J. Prod. Res*, 28: 5 (1990) 879-894.
- [18] R. Marek, D. Elkins, D. Smith, Understanding the fundamentals of Kanban and CONWIP pull systems using simulation, *Winter Simulation Conference Proceedings 2001*, (2001) 921-929.
- [19] T. Ohno, *Toyota Production System-beyond large-scale production*, Productivity Press, USA, 1988.
- [20] Y. K. Ghamari, A performance comparison between kanban and CONWIP controlled assembly systems. *J. Intell Manuf.*, 20 (2009) 751-760.
- [21] B. Gasterman, M. Stopper, B. Katalinic, Adapting conwip characteristics for conventional production planning. *Daam International Scientific Book*, 46 (2012) 553-564.
- [22] Y. Jaegler, P. Burlat, S. Lamouri, The ConWIP Production Control System: A Literature Review, *Information Systems Logistics and Supply Chain 6th ILS Conference*, 2016.
- [23] E. G. A., Gaury, H. Pierreval, J. P. C. Kleijnen, An Evolutionary approach to select a pull system among Kanban, Conwip and Hybrid. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11 (2000) 157-167.
- [24] J. W. Li, Comparing kanban with CONWIP in a make-to-oder environmet supported by JIT practices. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 28 (2011) 72-88.
- [25] R. Suri, A. Krishnamurty, *How to Plan and Implement POLCA: A Material Control System for High-Variety or Custom-Engineered Products*, Technical Report, Centre for Quick Response Manufacturing, 2003.
- [26] J. Riezebos, Design of POLCA material control systems. *International Journal of Production Research*, 48: 5 (2010) 1455-1477.
- [27] T. Frazee, C. Standridge, CONWIP versus POLCA: A Comparative Analysis in a High-Mix, Low-Volume (HMLV) Manufacturing Environment with Batch Processing. *Journal of Industrial Engineering and Management JIEM*, 9: 2 (2016) 432-449.
- [28] A. Farnoush, M. Wiktorsson, Polca and Conwip performance in a divergent production line, an automotive case study. *J. Manag Control*, 24 (2013) 159-186.
- [29] C. C. Huang, A. Kusiak, Overview of Kanban systems. *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 3 (1996) 169-189.
- [30] J. A. Pettersen, A. Segerstedt, 2009, Restricted work-in-process: A study of differences between Kanban and CONWIP. *International Journal of Production Economics*, 118 (2009) 199-207.

- [31] W. H. Ip, M. Huang, K. L. Yung, D. Wang, X. Wang, Conwip based control of a lamp assembly production line. *J. Intell Manuf*, 18 (2007) 261-271.
- [32] M. L. Spearman., M. A. Zazanis, Push and pull production systems: issues and comparisons. *Operations Research*, 40 (1992) 521–532.
- [33] A. Krishnamurty, R. Suri, Planning and implementing POLCA: a card-based control system for high variety or custom engineered products. *Production Planning & Control*, 20: 7 (2009) 596-610.
- [34] Ö. Kabadurmuş, A comparative study of POLCA and generic CONWIP production control systems in erratic demand conditions. *IIE Lean Division Lean Student Paper Competition*, 2009.
- [35] S. Gstettner, H. Khun, Analysis of production control systems kanban and CONWIP. *Int. Journal of Production Research*, 34: 11 (1996) 3253-3274.

Functionally Graded Porous Implants Obtained by Additive Manufacturing

Fahri MURAT^{1,*} İsmail Hakkı KORKMAZ¹ Abdullah Tahir ŞENSOY² İrfan KAYMAZ¹

¹Erzurum Technical University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, 25050, Yakutiye/ERZURUM

²Bayburt University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 69000, Merkez/BAYBURT

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the recent developments in the literature on porous implants, functionally graded porous structures and additive manufacturing applications of these structures have been compiled. As a result, a procedure is presented on porous implant designs that will be used to improve mechanical properties by accelerating biological healing processes in additive manufacturing applications.

Article Info:

Received: 08/02/2019

Revision 11/06/2019

Accepted: 27/06/2019

Highlights

- Functionally graded porous implants.
- Additive manufacturing.
- Implant applications.

Keywords

Functionally Graded Materials

Additive Manufacturing

Porous Implants

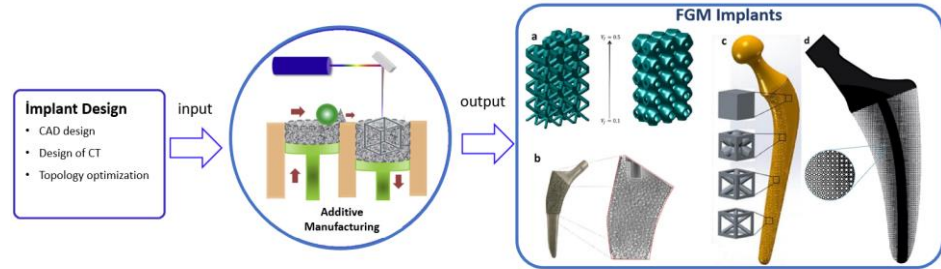


Figure A. Implant design and manufacturing process

Purpose: In this study, the properties of functional graded porous implants are examined both comparatively with homogeneous porous implants and information about production methods are presented.

Theory and Methods: Functionally graded structures which provide the harmony of tissue regeneration and mechanical behaviour on the load bearing orthopedic implant are presented. The design where porosity is very dense in the load-bearing sections of the implant and less dense in the areas in contact with the tissue have become feasible by the additive manufacturing methods.

Results: As a result, a procedure is presented on porous implant designs that will be used to improve mechanical properties by accelerating biological healing processes in additive manufacturing applications.

GU J Sci, Part C, 7(3): 540-553 (2019)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

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

Eklemler Üretim ile Elde Edilen Fonksiyonel Kademelenendirilmiş Gözenekli İmplantlar

Fahri MURAT^{1,*} İsmail Hakkı KORKMAZ¹ Abdullah Tahir ŞENSOY² İrfan KAYMAZ¹¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25050, Yakutiye/ERZURUM²Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 69000, Merkez/BAYBURT

Öz

Gözenekli yapılar, vücutta kullanılan implant ve protezler için doku oluşumunun desteklenmesi, gerilme kalkını ve aseptik gevşeme problemlerinin giderilmesi gibi üstünlüklerinden dolayı biyomedikal endüstrisinde giderek artan bir kullanım oranına sahiptir. Homojen yoğunluğa sahip gözenekli yapıların biyolojik süreçlere olumlu katkıları olsa da, bu yapılar mekanik açıdan istenen özellikleri sergilemede yetersiz kalmışlardır. Bu durumda kullanılacak olan implantın biyolojik ve mekanik olarak optimum tasarımı sunması gerekmektedir. Bahsedilen problemin çözümü için yük taşıyan ortopedik implant üzerinde doku rejenerasyonu ve mekanik davranışın birbirleriyle uyumunu sağlayan fonksiyonel kademelenendirilmiş yapılar sunulmuştur. Gözenekliliğin, implantın yük taşıyan kesitlerinde çok yoğun, doku ile temas eden bölgelerinde ise az yoğun olduğu tasarımlar, eklemeli üretim yöntemleri ile uygulanabilir hale gelmiştir. Yapılan bu çalışmada gözenekli implantlar, fonksiyonel kademelenendirilmiş gözenekli yapılar ve bu yapıların eklemeli üretim uygulamalarının bulunduğu literatürdeki son gelişmeler derlenmiştir. Sonuç olarak eklemeli üretim uygulamalarında biyolojik iyileşme süreçlerini hızlandırarak mekanik özellikleri geliştirmek için kullanılacak olan gözenekli implant tasarımları hakkında bir yol haritası sunulmuştur.

Functionally Graded Porous Implants Obtained by Additive Manufacturing

Abstract

Porous structures have an increasing use in the biomedical industry due to their advantage, such as supporting tissue regeneration for implants and prostheses used in the body, eliminating stress shielding and aseptic loosening problems. Although porous structures with homogeneous density contributed positively to biological processes, these structures were insufficient to exhibit the desired mechanical properties. The implant to be used in this case should offer the optimum design both biologically and mechanically. In order to solve this problem, functionally graded structures which provide the harmony of tissue regeneration and mechanical behaviour on the load bearing orthopedic implant are presented. The design where porosity is very dense in the load-bearing sections of the implant and less dense in the areas in contact with the tissue have become feasible by the additive manufacturing methods. In this study, the recent developments in the literature on porous implants, functionally graded porous structures and additive manufacturing applications of these structures have been compiled. As a result, a procedure is presented on porous implant designs that will be used to improve mechanical properties by accelerating biological healing processes in additive manufacturing applications.

Makale Bilgisi

Başvuru: 08/02/2019

Düzeltilme: 11/06/2019

Kabul: 27/06/2019

Anahtar Kelimeler

*Fonksiyonel
Kademelenendirilmiş
Malzemeler**Eklemeli Üretim**Gözenekli İmplantlar*

Keywords

*Functionally Graded
Materials**Additive Manufacturing**Porous Implants*

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde implantlar, çene ve diş cerrahisi, ortopedi, kardiyovasküler cerrahi gibi birçok sağlık alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Geçmişte insanoğlunun antropometrik verilerine göre şekillenirken, günümüzde ise daha fazla teknoloji içeren ve çok hızlı değişikliğe uğrayan yenilikçi ürünler kullanılmaktadır.

İmplant üretimi konusunda gelinen son noktada eklemeli üretim ile elde edilen gözenekli yapılar bulunmaktadır. Son yıllarda popüler bir araştırma alanı olarak dikkat çeken eklemeli üretim, hedeflenen özelliklerdeki implantların oluşturulması için büyük bir olanak sunmuştur. Özellikle, katı bir yapıdaki boşluğun yüzdesi olarak tanımlanan gözenekliliğin bir implanta adaptasyonu bu yöntem ile başarılmıştır [1]. Bu gözenekli yapılar, geleneksel olarak içi dolu olarak (bulk) modellenen implantların kısa, orta ve uzun dönemde ortaya çıkardıkları hasarların incelenmesindeki bilimsel arayışın sonucudur. Bir implantın kullanımı ile doğrudan ilişkili olduğu kemik veya yumuşak dokunun benzer malzeme özelliklerine sahip olmasının beklenmesi, bulk olarak kullanılan implantlar için mümkün değildir. Biyouyumluluk, kemik gelişimi, uygun elastisite modülü gibi elde edilmesi hedeflenen benzer özellikler için, mevcut biyomalzemeler dikkate alındığında en ideal yapılar gözenekli implantlardır [2].

Kemik, fonksiyonel kademeli gözenekli yapıya sahip kompozit bir malzemedir ve iki kısımdan oluşur; yüksek rijitliğe (13-20 GPa) ve düşük gözenekliliğe sahip kortikal kemik ve daha düşük rijitliğe (0,5-4 GPa) ve yüksek gözenekliliğe sahip trabeküler kemik [1]. Yaygın olarak kullanılan Ti6Al4V alaşımından üretilen implantlar için 110 GPa'lık ortalama elastisite modülü dikkate alındığında, kemiğin değerleri arasındaki fark, kemik atrofisine neden olmaktadır. Kemik atrofisi gerilme kalkanı (stress-shielding) etkisi nedeniyle ortaya çıkmaktadır ve gelen fiziksel yükün büyük bir oranını implant tarafından üstlenilmesine sebep olup kemiğin gelişimini engelleyerek implant hasarlarına yol açmaktadır [3,4]. Gerilme kalkanı etkisi, kemik ve implant rijitliğinin/gözenekliliğinin birbirine yakın olması halinde giderilebilir [5].

Kemik ve geleneksel olarak kullanılan implant malzemelerinin rijitlik farkı, son yıllarda geliştirilen yeni malzemelerin kullanımı ile dengelenebilir. Örneğin, Ti alaşımının rijitliğini yaklaşık 42 GPa'a düşürmek için Tantal, Niyobyum ve Zirkonyum kullanılmaktadır [6]. Rijitlik farkının azalması, gerilme kalkanı oluşumunu azaltmasına rağmen, bulk malzemelerden yapılan implantlar kemik gelişimi için gözenekli implantlara göre daha az doku aktivasyonuna sahip olacaktır. İmplantın eklemeli üretim ile gözenekli yapıda üretilerek canlı dokuya uygulanması, kemik yapının implant içerisine doğru büyümesini sağlamaktadır. Gözeneklilik boyutu 200-350 µm arasında olan implantlar, yeni kemik ve kılcal damar oluşumunu destekleyerek kemik büyümesini kolaylaştırmaktadır [7]. Bunu sağlamak için eklemeli üretim ile homojen gözenekliliğe sahip implantlar üretilmektedir [8].

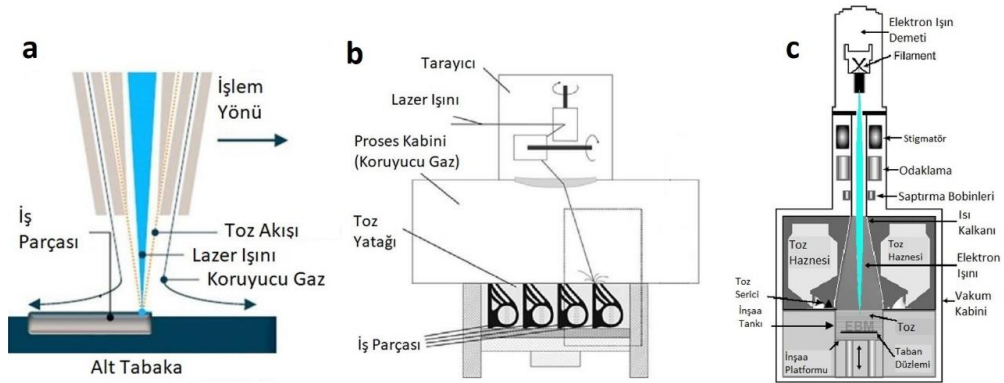
Homojen gözenekliliğe sahip implantların kullanımı sonrası implant-kemik benzeşiminin anatomik olarak daha doğru olması için son yıllarda fonksiyonel kademelendirilmiş gözenekli implantlar ortaya çıkmıştır. Her ne kadar bazı çalışmalarda homojen gözenekli implantlara göre daha yüksek rijitlik değerlerine sahip oldukları bildirilse de, kademeli tasarlanmış bu implantlar lokal geometrik özelliklerin neden olduğu gerilme yığılmalarını önleyerek lineer bir gerilme gradyanı oluşturmaktadır [9]. Aynı zamanda bu yapılar ile kişiye özel kemik yapısı dikkate alınarak kemik gelişimini idealleştirecek gözeneklilik ve kademelendirme de sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, fonksiyonel kademelendirilmiş gözenekli implantların özellikleri hem homojen gözenekli implantlar ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiş hem de üretim yöntemleri ile ilgili bilgiler sunulmuştur.

2. EKLEMELİ ÜRETİM (ADDITIVE MANUFACTURING)

Bilgisayar ortamında hazırlanan üç boyutlu (3B) parçaların çeşitli yöntemlerle katmanlar halinde üretilmesi, eklemeli üretim olarak adlandırılmaktadır. Başka bir deyişle eklemeli üretim, 3B model verilerinden parçalar üretme işlemidir [10]. Bu işlem mühendislik açısından metalik yada katı fazda bulunan seramik ve polimer malzemelerin tabakalar halinde, basit veya çok karmaşık modellerinin üretimi için kullanılmaktadır. Eklemeli üretim teknolojisi kullanılırken bütün parametreleri belirlemek ve en uygun yöntem ile üretimi gerçekleştirmek hem parça kalitesi hem de zaman ve maliyet kazancı açısından oldukça önemlidir. Bahsedilen seçimi yapmak için işlenecek malzeme türü, teknoloji kullanılabilirliği, parçaların özellikleri ve servis gereksinimleri, post-proses gereksinimi, yüzey kalitesi ve parça doğruluğu gibi bazı prosedürler önerilmiştir [11]. Eklemeli üretimin geliştirilmeye başlandığı ilk yıllarda üretilen parçanın doğruluğu ve toleransları üzerine çalışmalar yoğunlaşırken, günümüzde daha çok maliyet ve zaman tasarrufu için çalışmalar yapılmaktadır [12].

Eklemeli üretim ile çoğunlukla metal olan implantları/protezleri üretmek için metal ve alaşımlarını işleyebilen ve Şekil 1’de verilen temel yöntemler kullanılmaktadır [12]. Bu yöntemler kullanılan ışına (lazer veya elektron ışın), kullanılan tozun durumuna (toz püskürme veya toz yatak) ve malzemenin üretim biçimine (ergitme, sinterleme, katılaştırma) göre gruplandırılmıştır [13,14].



Şekil 1. a) Metal toz püskürtme, b) Lazer ışın ergitme, c) Elektron ışın ergitme [12]

Sağlık alanında yaygın olarak kullanılan implantların kemiğin biyomekanik özellikleri ile benzerlik göstermesi eklemeli üretim teknikleri ile sağlanmıştır. Geleneksel üretim yöntemleri ile elde edilmesi mümkün olmayan geometriler ve prototip üretimlerinde yüksek maliyetli ürünler gibi dezavantajlarla karşılaşmaktadır. Kemik yapısının sahip olduğu heterojen gözenekli yapıyı destekleyen ve kemik gelişimine izin veren biyobenzer yapılar, eklemeli üretim teknikleri ile istenilen yoğunlukta, gözenekli olarak ve doğrudan oluşturulabilmektedir. Özellikle bir hastanın anatomik verisine göre tasarlanan implantın üretiminde döküm, dövme ve talaşlı imalat gibi geleneksel yöntemlere kıyasla daha büyük avantajlar sunmaktadır [15,16].

3. GÖZENEKLİLİK (POROSITY)

Kemik, makro ve nano ölçekte homojen olmayan kompozit bir yapıdır. Gözenekli yapıda üretilen metalik implantlar kemik özelliklerini tümüyle taklit edemese de bir takım benzerlikler sunar. Bu durumda ideal implant seçiminde katmanlı kemik yapısı dikkate alınarak gözenek konfigürasyonu belirlenmelidir [17]. Kemik dokunun, bir yandan üzerine gelen fiziksel yüklemeye şartları altında uygun çalışması gerekirken, diğer yandan osseointegrasyon ve vaskülarizasyona izin verecek gözenek büyüklüğüne sahip implant ile uyumlu olması gerekmektedir.

Gözenekli olmayan bulk implantların elastisite modülleri insan kemiğine oranla oldukça yüksektir. Bu durum kemik-implant ara yüzünde fiziksel yükün aktarımını etkiler. İmplant, oluşan fiziksel yükü kemikten daha fazla üstlenir ve bu duruma gerilme kalkanı (stress shielding) etkisi denir. İmplant tasarımındaki en büyük problemlerden biri olan gerilme kalkanı etkisi implantasyon sonrası revizyon ameliyatları gerektirebilir [18].

Uzun boylu kemik kırıklarında, kemik yüzeyine tam temas eden sabitleme plağı, kan akışını bozarak doku oluşumunu engeller. Kan akışının bozulması ya da yok olması, kırık bölgesinin bu noktada yeniden şekillenmesine izin vermez ya da yeniden şekillenmeyi geciktirir. Dolayısıyla kırık bölgesinde dış kemik yüzeyine sıkıca temas eden bir plak, kontak yüzeyinde nekroz bölgesi oluşturur [19].

Bu tür implant hasarlarını gidermek için birçok gözenekli implant üretimi ve uygulaması yapılmıştır. Örneğin Story ve arkadaşları yaptıkları çalışmada “% 44” ve “% 88” gözeneklilik oranına sahip titanyum kaplı dental implantları köpek mandibulası ve femur kemiğine implante etmiştir. Kontroller 2, 4 ve 14 hafta aralıklarla gerçekleştirilmiş olup gözenekliliğin yüksek olduğu bölgelerde daha fazla kemik oluştuğu görülmüştür [20]. Titanyum alaşımı toz püskürtme ile elde edilen gözenekli silindirik numuneler domuz kafatasında “in vivo” (canlı organizma üzerinde yapılan deneysel inceleme) olarak incelenmiştir. Yoğunluk değerleri “% 23–32” arasında olan gözenekli numuneler implante edildikten sonra 6 ve 16 hafta süre ile yapı içerisinde doku oluşumu gözlemlenmiş ve 16 hafta sonunda “% 75” gözenekliliğe sahip yapıda maksimum biyolojik iyileşme ve doku büyümesi görülmüştür [21]. Ancak, incelenen bölgedeki kemiğin morfolojik yapısına göre bu gözeneklilik oranının optimum değeri değişebilir. Doğal kemik dokusu ile uyum sağlaması açısından tasarlanan kafes yapıları için önerilen makro gözenek boyutu 300–900 µm ve gözeneklilik değeri “% 60–90” arasındadır [22].

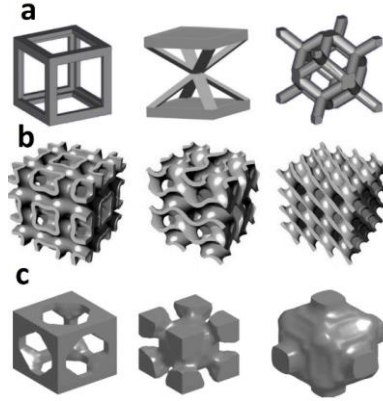
Gözenekli implant kullanımını inceleyen literatür çalışmaları bu tür implantların implant–kemik uyumsuzluğunu ortadan kaldırarak kemiğin yeniden oluşumunu desteklediğini ve implant–kemik arayüzünde meydana gelen hasarların büyük oranda azaltılabileceğini ortaya koymuştur [1]. Yük taşıyan ortopedik implantların uzun süre başarılı olması için mekanik özellikler ile mikro yapı arasında optimum bir denge sağlanmalıdır [23]. Ancak bunun başarılabilmesi için gözenekli implantların ve kemik dokusu mekaniğinin iyi anlaşılacak doğru bir şekilde birleştirilmesi gerekir.

3.1. Gözenekli İmplantlar (Porous Implants)

Vücutta kalıcı implantların osseointegrasyon özelliklerini iyileştirmek adına yüzey işlemleri uygulamak oldukça yaygın bir yöntemdir. Bu amaçla, gerçekleştirilen gözenekli kaplama sayesinde implant stabilitesinin iyileştirildiği birçok yayında raporlanmıştır [24,25]. İmplant yüzeyine uygulanan Hidroksiapatit (HA) veya hibrit bileşikler, kemik doku ile kimyasal bağ oluşturarak kemik-protez arayüzündeki biyoaktifliğin artmasını ve implantın sıyrılmaya/gevşemesine karşı direnç kazanmasını sağlar. İmplant yüzeyinin gözenekli yapıda olması, biyolojik açıdan birtakım olumlu katkılar sağlamasına karşın, HA'nın gevrek yapısı mekanik açıdan dezavantaj oluşturur [26]. HA, aynı akma dayanımına sahip sünek malzemeler ile karşılaştırıldığında daha düşük birim şekil değişimi enerjisine sahip olduğundan ani yükler altında daha kolay hasara uğrar. Kullanılacak implantın gözenekli yapıda üretilmesi, HA kaplama prosesine duyulan gereksinimi ortadan kaldıracığından, bu teknikte hem bahsedilen olumsuz durum giderilmekte, hem de implantın iç kısmında da kemik doku gelişebilmektedir. Bu açıdan, konunun derinlemesine incelenerek implantın iç yapısının da gözenekli olarak tasarlanması, kemik-implant kompleksindeki gerilme dağılımı ve arayüzdeki mikrohareketlerin azaltılması bakımından önem arz etmektedir.

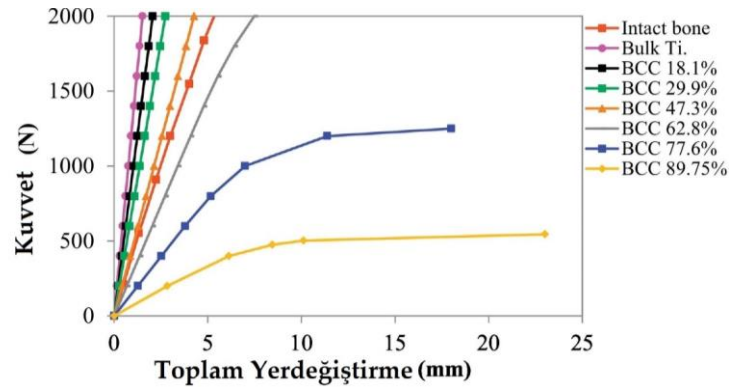
3.2. Gözenek Özelliklerinin Mekanik ve Biyolojik Olarak İncelenmesi (Mechanical and Biological Investigation of Pore Properties)

Eklemeli üretimdeki gelişmeler, kemik dokusuna uygun özellikler ve akışkan geçirgenliği ile karakterize edilmiş periyodik hücresel kafes yapılarının imal edilebilirliğini sağlamıştır. Bu kafes yapıları hem mekanik hem de biyolojik özellik bakımından üç ana başlıktan oluşmaktadır; kiriş tabanlı, yüzey tabanlı ve topoloji optimizasyon tabanlı birim kafes yapıları şeklindedir (Şekil 2).



Şekil 2. Gözenekli implant üretiminde kullanılan a) Kiriş tabanlı [27], b) Yüzey tabanlı [28], c) Topoloji optimizasyon tabanlı [29] birim kafes yapıları

Liu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı hacim oranlarına sahip kafes yapılarının mekanik özelliklerini araştırmak ve geliştirmek amacıyla Ti6Al4V tozlarından Seçimli Lazer Ergitme (SLE) ile elde edilen kristal kafes modellerini mekanik testlere tabi tutmuşlardır. Bunun sonucunda kafes içerisinde bulunan düğüm noktaları için optimum yüzey tasarımı gerçekleştirilmiştir [30]. Ahmadi ve arkadaşları ise birim hücre tasarımı ve gözenekliliğin kafes yapıların mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendikleri çalışmada rijitlik ile gözeneklilik arasında ters orantı olduğunu bildirmişlerdir [31]. Kemik implant uygulamaları için elektron ışın ergitme ile “% 82–85” aralığında yüksek gözenekliliğe sahip titanyum alaşımı yüzey tabanlı gyroid (Triply Periodic Minimal Surface-TPMS) kafesler üretilerek mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Basma testleri sonucunda ortaya çıkan deformasyon davranışları incelenmiş ve yüksek gözenekli gyroid yapının akma dayanımı 637 ile 1084 MPa arasında değişmiştir [32]. Birim kafes yapılarının mekanik olarak incelenmesi birim kafes doluluğunu ve yapısını kullanarak kemik-implant ara yüzeyinin rijitliğini belirlemek için önemlidir (Şekil 3).



Şekil 3. Farklı yoğunluklarda hacim merkezli gözenekli yapılarına ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiği [33]

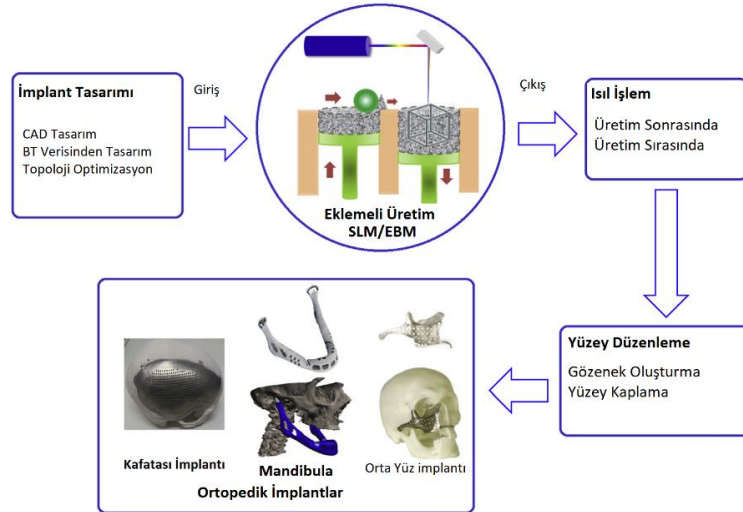
Mekanik olarak ideal ürünün elde edilmesi implant hasarlarını gidermek için yeterli olmayacaktır. Çünkü gözenekli implantın uzun dönem başarısı için kemik-implant ara yüzeyinin biyolojik sürecini de iyi anlamak gerekir. Gözeneklilik, kemiği besleyecek biyolojik geçişe de izin vermelidir. Bu geçişi inceleyen Chang ve arkadaşları, gözenekli ortamda gerçekleşen besin ve oksijen nakli için kafes yapısının en ideal formunu elde etmeye yönelik optimizasyon çalışmaları yapmıştır. Bunun sonucunda birim hücre (Representative Volume Element-RVE) olarak yeni bir model sunmuşlardır [34]. Eklemeli üretim ile elde edilen basit kübik, bal peteği ve gyroid birim kafesleri üzerinde yapılan deneylerde simüle edilmiş vücut sıvısı (hidrojel) kafes yapılarına takviye edilmiştir. Belirli bir süre içerisinde gerçekleşen deney sonucunda gyroid yapının bal peteğine göre “% 63”, basit kübiğe göre “% 35” daha fazla hidrojel depoladığı bildirilmiştir [35]. Bu durum fiziksel ve mekanik açıdan kemik yapılarına benzer özellikler gösteren basitleştirilmiş modellerin oluşturulması bakımından elverişlidir [36]. Gözenek özelliklerinin mekanik davranışını incelemek üzere Yan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada titanyum alaşımı kullanılarak SLE yöntemi ile 560–1600 µm ve 480–1450 µm aralığında gözenek büyüklüğüne sahip gyroid ve elmas yapılarının imalatı gerçekleştirilmiştir. “%80–95” gözenekliliğe sahip gyroid model 0,12–1,25 GPa aralığında elastik modül özellikleri ile trabeküler kemiğe daha yakın sonuçlar vermiştir [37]. Bu durum gyroid yapının vaskülarizasyon, doku beslenmesi ve mekanik özellikler açısından çok daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

3.3. Homojen Yoğunluğa Sahip Gözenekli İmplant Uygulamaları (Porous Implant Application with Homogeneous Density)

Gözenekli biyomalzemelerin, ortopedik ve dental kemik implant uygulamalarında doku oluşumu için yüksek bir yüzey alanı sağlamaları, implant-kemik arayüzünde kullanımlarını uygun hale getirmiştir [38]. Rahimizadeh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, tibial diz protezinde minimal kemik rezorpsiyonunu sağlamak için tamamen gözenekli yapılar kullanılmıştır [39]. Doku oluşumunu hızlandırarak gerilme kalkanı etkisini ortadan kaldırmak amacıyla implantlar üzerine bir takım kafes yapıları yerleştirilmiştir. Spesifik olarak diz protezi ve femur bileşenleri üzerinde yapılan çalışmada gözenekli yapılar implant malzemeler ile birleştirilmiş ve elektron ışın ergitme ile üretilerek uygulanabilirliği araştırılmıştır [40]. Ayrıca implant-kemik mekanik özelliklerinin uyumsuz olmasından kaynaklı en önemli sorunlardan biri olan aseptik gevşeme problemini ortadan kaldırmak için implant ile kemik temas bölgesine gözenekli yapılar yerleştirilmiş ve bu yapılar üretilerek statik deneyler sonucu dijital görüntü işleme ile mekanik uyumluluk test edilmiştir [41]. Özellikle biyomekanik uygulamaları açısından sıklıkla kullanılan homojen gözenekli yapılar, her ne kadar doku oluşumunu destekleyerek gerilme kalkanı ve aseptik gevşeme gibi problemlerin etkisini azaltsa da kemik özelliklerini tamamen taklit etmekte yetersiz kalmıştır. Ayrıca mekanik olarak eğilme momenti altında çalışan bir implantta gerilme dağılımı her yerde uniform olmadığından, gerilme dağılımına uygun bölgesel yoğunlaşma gereklidir. Mekanik uyumluluk ve biyolojik rejenerasyonun optimum düzeyde elde edilmesi için yapı üzerindeki bölgesel yoğunluğun mekanobiyojoloji açısından kademeli olarak değişmesi gerekmektedir.

3.4. Homojen Gözenekli Yapıların Eklemeli Üretim Uygulamaları (Additive Manufacturing Applications of Homogeneous Porous Structures)

Eklemeli üretim teknolojisinin önemli bir avantajı, bu yöntem ile implant endüstrisi için özelleştirilmiş tasarımların imal edilebilmesidir. Kişiye özel implant tasarımı için hastadan alınan BT görüntüleri işlenerek hasarlı bölgeye uygun ürün tasarlanmaktadır (Şekil 4).

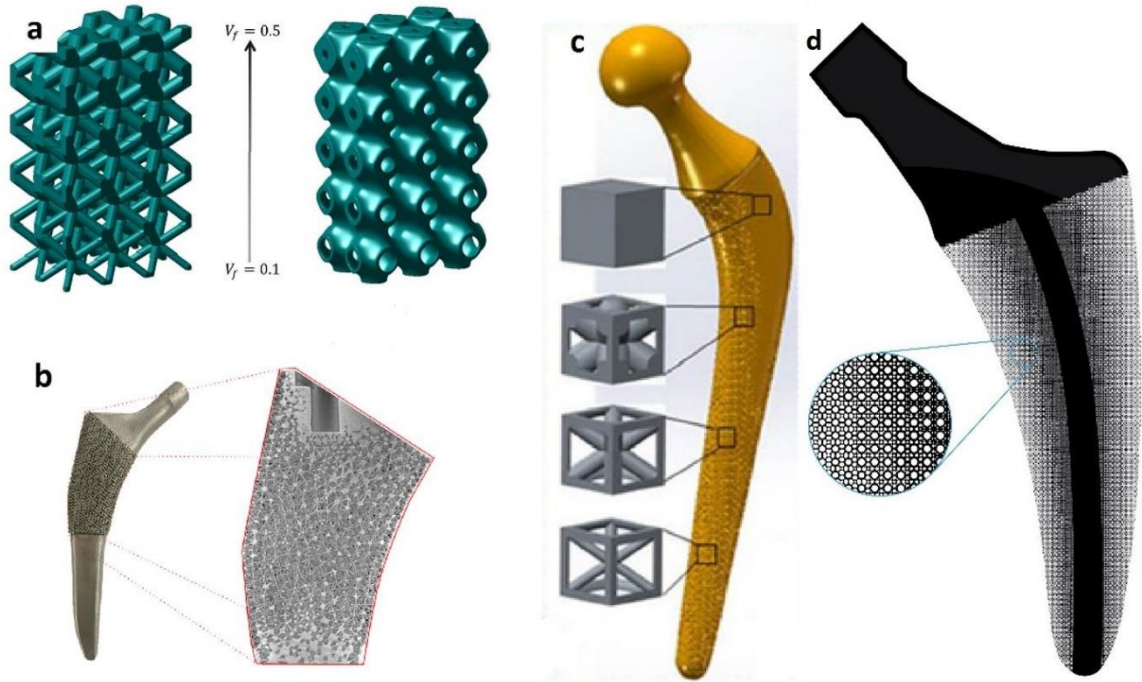


Şekil 4. Boşluklu yapıya sahip implant tasarımları ve eklemeli üretimi [29]

Yapılan bir çalışmada 83 yaşında kadın mandibulası çiğneme ve konuşma işlevini yerine getiremediği için hastaya özel çene modeli tasarlanarak üretilmiş ve implantasyonu gerçekleştirilmiştir. Ameliyattan bir gün sonra hasta yeterli konuşma, yutma ve sınırsız mandibular hareket ile normal fonksiyonları yerine getirmiştir [42]. Başka bir çalışmada orta yüz kısmında bulunan sağ sinüsoid kemiğin implant modeli tasarlanarak hastaya yerleştirilmiştir [43]. Kafatası yaralanması sonucu hastaneye başvuran 22 yaşında erkek hasta için BT görüntüleri kullanılarak elde edilen kranial poroz implant metal toz püskürtme yöntemi ile üretilerek hastaya implante edilmiştir [44].

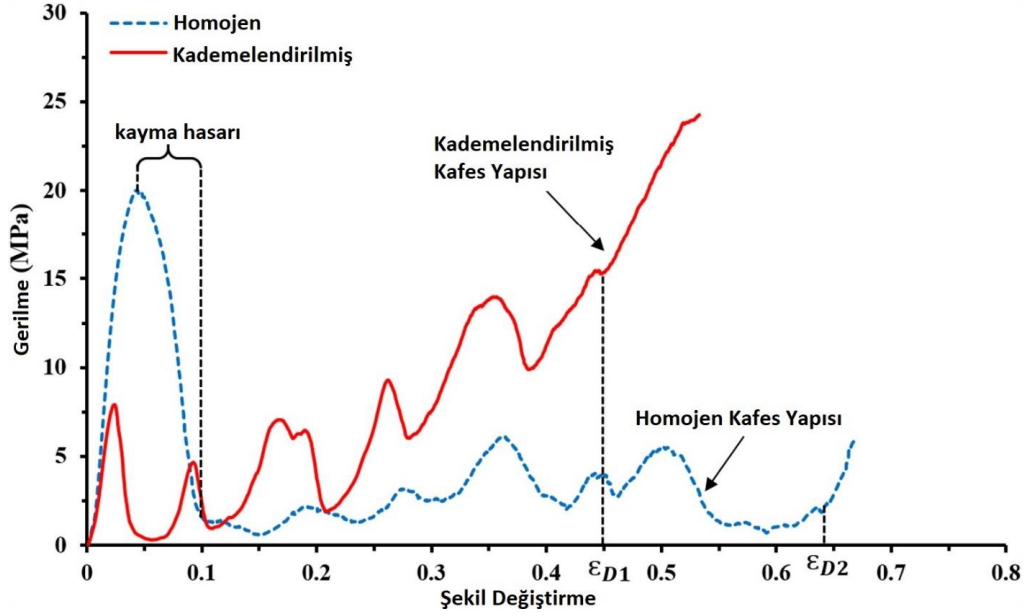
3.5. Fonksiyonel Kademelendirilmiş Gözenekli Yapılar (Functionally Graded Porous Structures)

Diş içerisinde bulunan anizotropik kristaller, çiğneme yüküne bağlı olarak yönlendirilir ve dişin öğütme yüzeyine yakın bölgelerde inorganik madde konsantrasyonu daha da artar. Buna bağlı olarak doğal biyolojik yapılarıdaki kademeler, fonksiyonlarını çevresel kısıtlamalar dahilinde verimli bir şekilde yerine getirmektedir [45]. Yapı üzerinde bulunan gözeneklerin Şekil 5-a'da gösterilen tasarım boyunca kademeli değişimi, yüklemenin implant boyunca değişmesinden dolayı değişken mekanik davranışa ve kemik dokusuna yakın rijitliğe sahip modeller için önemli bir avantajdır. Bu durum trabeküler kemik gibi doğal yapılarda bulunan değişken gözenek boyutlarının mekanik ve fizyolojik özelliklerini taklit edebilmek için kullanılmaktadır [46]. Böylece belirli yükler altında konuma bağlı olarak değişen mikro yapılarla yoğunluk değişimi gösteren hücreli gözenekli yapılar önemini artırmıştır [47]. Fonksiyonel kademelendirilmiş malzemeler (Functionally Graded Materials-FGM), olarak değerlendirilen bu yapılar mükemmel makro ve mikro ölçekli performans sağlayan, yumuşak şekilde değişen mikroyapı topolojilerine ve fiziksel özelliklere sahiptir [48].



Şekil 5. Fonksiyonel kademelendirilmiş gözenekli yapılar. a) Kademeli yoğunluk değişimi gösteren gözenekli giriş modeli [47], b) Eklemeli üretim ile üretilen heterojen yoğunluklu gözenekli kalça protezi [49], c) Hacim merkezli kafes yapısına sahip heterojen yoğunluklu kalça protezi [50] d) Kademeli olarak tasarlanan gözenekli ortopedik kalça protezi [48]

Doğal kemiğin iç yapısı, fonksiyonel kademelendirilmiş hücresel bir yapıdır. Dolayısıyla kemik bölgesinde kullanılacak implantın değişken yoğunluğa sahip olması gerekmektedir [50,51]. Eklemeli üretim yöntemleri ile elde edilen fonksiyonel kademeli malzemeler kafes yapıları kullanılmadan katı yapıda üretilmiştir [53]. Ayarlanabilir mekanik özelliklere sahip kalça protezi çalışması ile fonksiyonel kademelendirilmiş gözenekli yapılar kemik yoğunluğuna bağlı olarak protez tasarımı ile birleştirilmiştir [48,53]. Bu çalışma sonunda gerilme kalkanı etkisi “% 75” oranında azaltılmış olup tasarlanan model SLE yöntemi ile üretilmiştir (Şekil 5-b). Ortopedik implant uygulamalarının, yüksek osseointegrasyon ve düşük gerilme kalkanı oluşturması sebebiyle gözenekli olarak tasarımı gerçekleştirilen bir çalışmada yoğunluğun bölgesel olarak değiştiği implant için yeni bir yöntem sunulmaktadır (Şekil 5-c). Kafes elemanların giriş boyu ve çaplarının implant boyunca değiştiği ve kademeli yoğunluk değişiminin, sistemin mekanik özelliklerine göre düzenlendiği çalışmada uygulama kalça protezi üzerinde gerçekleştirilmiştir [50]. Böylece düşük gözenekliliğe sahip bölgelerde yüksek mekanik stabilite sağlanırken, yüksek gözenekliliğe sahip bölgede kemik oluşumu desteklenir ve kemik-implant arayüzündeki mikrohareketler azalmış olur [55]. Son zamanlarda yapılan çalışmalar ile fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelerin mekanik ve biyolojik özelliklerini geliştirmek için önemli adımlar atılmıştır [56]. Ayrıca yakın zamanda gerçekleştirilen çalışmada, homojen ve fonksiyonel kademelendirilmiş yapılar hacim merkezli kafes yapısında SLE ile üretilerek mekanik davranışları incelenmiştir. Deneysel incelemelerden elde edilen sonuçlara göre homojen yapılar 45° de kayma hasarına uğrarken bu durum kademeli yapılarda plato çöküşü şeklinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 6). Fonksiyonel kademelendirilmiş yapılarda homojen kademeye sahip kısımlar lokal olarak hasara uğramaktadır. Kademeler arasında yoğunluk farkı bulunduğu için ilk olarak düşük yoğunluğa sahip kısım hasara uğrar ve süreç daha yoğun kademenin hasarı şeklinde ilerler. Sonuçta Şekil-6’da diyagramda verilen dayanım artışı meydana gelir. Bu durum mekanik özelliklerin homojen yapılara kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmektedir [57].



Şekil 6. Homojen ve fonksiyonel kademelendirilmiş kafes yapılarının basma testi sonucu elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiği [57]

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, eklemeli üretim ile elde edilen implantlar üzerinde çeşitli kafes yapılarının homojen ve fonksiyonel kademelendirilmiş dağılımı biyolojik ve mekanik olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sonuçları şu şekilde özetlenebilir;

- i. Eklemeli üretim, kompleks geometrik formların ve gözenekli kafes yapılarının imalatı için en uygun yöntemlerden birisidir.
- ii. Implant hasarlarının yaygın sebeplerinden olan gerilme kalkanı etkisi, aseptik gevşeme ve kemik dokusunun yenilenmesinde karşılaşılan problemler, implant-kemik ara yüzeyi ve benzeşimi ile ilişkilidir.
- iii. Bulk implant yapıları yerine gözenekli yapıların implant tasarımında kullanılması bu hasarları gidermek için daha doğrudur. Çünkü;
 - a. Gözenekler hücre aktivitesini, vaskülarizasyonu ve osteointegrasyonu sağlar/artırır.
 - b. Bu sayede birim kafeslerden oluşan gözenekli implantlarda doku oluşumunun desteklemesi ve mekanik özelliklerin trabeküler kemiğe yakın olması söz konusu olur.
 - c. Gyroid yapının özellikle trabeküler kemiğe gözenek açısından benzeşimi daha yüksek olduğundan tasarımda tavsiye edilmektedir.
 - d. Yeni doku oluşumu için gözenekliliğin % 60-90 arasında olması önerilen oranlar olup bu değerler vücudun morfolojik yapısına göre değişiklik göstermektedir.
- iv. Büyük yüklere maruz kalan ortopedik implantlar ile homojen gözenekli yapıların biyolojik iyileşme sürecini hızlandırması önemli bir gelişmedir. Fakat, kullanılan implant için doku oluşumunun yanı sıra arzu edilen mekanik özellikleri göstermesi gerekmektedir.
- v. Hem gözenekliliğin hem de istenilen mekanik dayanımın elde edilmesi fonksiyonel kademelendirilmiş gözenekli implantlar ile başarılıdır. Çünkü;
 - a. İmplantın değişken gözenek yoğunluğu sayesinde, hem morfolojik hem de mekanik özellikler açısından, trabeküler kemik anatomisine daha yakın bir topoloji elde edilmektedir.
 - b. Bu başarılı benzeşim, gerilme kalkanı etkisi ve yeni doku oluşumu dengesini doğrudan kurabilir.

- c. İmplantların maruz kaldıkları yorulma hasarı konusunda bu yapılar daha başarılıdır. Bu durum uzun dönem başarısı için önemlidir.

Gözenek yoğunluğunun bölgesel olarak değiştiği yapıların ortopedik rejeneratif tıpta uygulama alanı kalça protezleri üzerine yoğunlaşmıştır. Fonksiyonel kademelendirilmiş gözenekli yapıların kafatası-mandibular implantlar ve sabitleme plakları için uygulanması önemli avantajlar sağlayacaktır. Ayrıca yapılan çalışmalar genel olarak tasarım, üretim ve *in vitro* testler ile sonuçlandırılmıştır. Bu yapıların *in vivo* davranışlarını incelemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından (Proje No: 218M425) desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlemizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] L. Yuan, S. Ding, ve C. Wen, "Additive manufacturing technology for porous metal implant applications and triple minimal surface structures: A review", *Bioactive Materials*, c. 4, sy 1, ss. 56-70, Mar. 2019.
- [2] D. Ren *vd.*, "Fatigue behavior of Ti-6Al-4V cellular structures fabricated by additive manufacturing technique", *Journal of Materials Science & Technology*, c. 35, sy 2, ss. 285-294, Şub. 2019.
- [3] Q.-H. Zhang, A. Cossey, ve J. Tong, "Stress shielding in periprosthetic bone following a total knee replacement: Effects of implant material, design and alignment", *Medical Engineering & Physics*, c. 38, sy 12, ss. 1481-1488, Ara. 2016.
- [4] T. Kusano, T. Seki, Y. Higuchi, Y. Takegami, Y. Osawa, ve N. Ishiguro, "Preoperative Canal Bone Ratio is Related to High-Degree Stress Shielding: A Minimum 5-Year Follow-Up Study of a Proximally Hydroxyapatite-Coated Straight Tapered Titanium Femoral Component", *The Journal of Arthroplasty*, c. 33, sy 6, ss. 1764-1769, Haz. 2018.
- [5] L. E. Murr, "Strategies for creating living, additively manufactured, open-cellular metal and alloy implants by promoting osseointegration, osteoinduction and vascularization: An overview", *Journal of Materials Science & Technology*, c. 35, sy 2, ss. 231-241, Şub. 2019.
- [6] X. Guangsheng, K. Hongchao, L. Xianghong, L. Fuping, L. Jinshan, ve Z. Lian, "Microstructure and Mechanical Properties of Porous Titanium Based on Controlling Young's Modulus", *Rare Metal Materials and Engineering*, c. 46, sy 8, ss. 2041-2048, Ağu. 2017.
- [7] V. Karageorgiou ve D. Kaplan, "Porosity of 3D biomaterial scaffolds and osteogenesis", *Biomaterials*, c. 26, sy 27, ss. 5474-5491, Eyl. 2005.
- [8] H. E. Burton *vd.*, "The design of additively manufactured lattices to increase the functionality of medical implants", *Materials Science and Engineering: C*, c. 94, ss. 901-908, Oca. 2019.
- [9] A. A. Zadpoor, "Mechanical performance of additively manufactured meta-biomaterials", *Acta Biomaterialia*, c. 85, ss. 41-59, Şub. 2019.
- [10] W. E. Frazier, "Metal Additive Manufacturing: A Review", *Journal of Materials Engineering and Performance*, c. 23, sy 6, ss. 1917-1928, Haz. 2014.
- [11] P. K. Gokuldoss, S. Kolla, ve J. Eckert, "Additive Manufacturing Processes: Selective Laser Melting, Electron Beam Melting and Binder Jetting—Selection Guidelines", *Materials*, c. 10, sy 6, s. 672, Haz. 2017.

- [12] D. Herzog, V. Seyda, E. Wycisk, ve C. Emmelmann, “Additive manufacturing of metals”, *Acta Materialia*, c. 117, ss. 371-392, Eyl. 2016.
- [13] H. Bikas, P. Stavropoulos, ve G. Chryssolouris, “Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 83, sy 1-4, ss. 389-405, Mar. 2016.
- [14] B. AktiMur ve E. S. Gökpınar, “Katmanlı Üretimin Havacılıkdaki Uygulamaları”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji*, c. 3, sy 2, ss. 463-469, 2015.
- [15] D. Mahmoud ve M. Elbestawi, “Lattice Structures and Functionally Graded Materials Applications in Additive Manufacturing of Orthopedic Implants: A Review”, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, c. 1, sy 2, s. 13, Eki. 2017.
- [16] H. R. Börklü, A. K. Yıldırım, ve H. K. Sezer, “Hızlı Prototip Oluşturmada Karşılaşılan Problemler Ve Çözüm Önerileri”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji*, c. 4, sy 4, ss. 309-319, 2016.
- [17] D. M. Robertson, L. S. Pierre, ve R. Chahal, “Preliminary observations of bone ingrowth into porous materials”, *Journal of Biomedical Materials Research*, c. 10, sy 3, ss. 335-344, 1976.
- [18] H. G. Chuah, I. A. Rahim, ve M. I. Yusof, “Topology optimisation of spinal interbody cage for reducing stress shielding effect”, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, c. 13, sy 3, ss. 319-326, Haz. 2010.
- [19] A. A. Fernandez Dell’Oca, S. Tepic, R. Frigg, A. Meisser, N. Haas, ve S. M. Perren, “Treating Forearm Fractures Using an Internal Fixator: A Prospective Study”, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, c. 389, ss. 196-205, Ağu. 2001.
- [20] B. J. Story, W. R. Wagner, D. M. Gaisser, S. D. Cook, ve A. M. Rust-Dawicki, “In vivo performance of a modified CSTi dental implant coating”, *Int J Oral Maxillofac Implants*, c. 13, sy 6, ss. 749-757, Ara. 1998.
- [21] A. Bandyopadhyay, F. Espana, V. K. Balla, S. Bose, Y. Ohgami, ve N. M. Davies, “Influence of porosity on mechanical properties and in vivo response of Ti6Al4V implants”, *Acta Biomaterialia*, c. 6, sy 4, ss. 1640-1648, Nis. 2010.
- [22] T. Arahira, M. Maruta, S. Matsuya, ve M. Todo, “Development and characterization of a novel porous β -TCP scaffold with a three-dimensional PLLA network structure for use in bone tissue engineering”, *Materials Letters*, c. 152, ss. 148-150, Ağu. 2015.
- [23] C. Torres-Sanchez, F. R. A. Al Mushref, M. Norrito, K. Yendall, Y. Liu, ve P. P. Conway, “The effect of pore size and porosity on mechanical properties and biological response of porous titanium scaffolds”, *Materials Science and Engineering: C*, c. 77, ss. 219-228, Ağu. 2017.
- [24] K. Harboe, N. R. Gjerdet, E. Sudmann, K. Indrekvam, ve K. Søreide, “Assessment of retention force and bone apposition in two differently coated femoral stems after 6 months of loading in a goat model”, *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, c. 9, sy 1, Ara. 2014.
- [25] L. Xia, Y. Xie, B. Fang, X. Wang, ve K. Lin, “In situ modulation of crystallinity and nano-structures to enhance the stability and osseointegration of hydroxyapatite coatings on Ti-6Al-4V implants”, *Chemical Engineering Journal*, c. 347, ss. 711-720, Eyl. 2018.
- [26] X. Zhao, X. Wang, H. Xin, L. Zhang, J. Yang, ve G. Jiang, “Controllable preparation of SiC coating protecting carbon fiber from oxidation damage during sintering process and SiC coated carbon fiber reinforced hydroxyapatite composites”, *Applied Surface Science*, c. 450, ss. 265-273, Ağu. 2018.

- [27] S. J. Li *vd.*, “Influence of cell shape on mechanical properties of Ti–6Al–4V meshes fabricated by electron beam melting method”, *Acta Biomaterialia*, c. 10, sy 10, ss. 4537-4547, Eki. 2014.
- [28] F. S. L. Bobbert *vd.*, “Additively manufactured metallic porous biomaterials based on minimal surfaces: A unique combination of topological, mechanical, and mass transport properties”, *Acta Biomaterialia*, c. 53, ss. 572-584, Nis. 2017.
- [29] X. Wang *vd.*, “Topological design and additive manufacturing of porous metals for bone scaffolds and orthopaedic implants: A review”, *Biomaterials*, c. 83, ss. 127-141, Mar. 2016.
- [30] F. Liu, D. Zhang, P. Zhang, M. Zhao, ve S. Jafar, “Mechanical Properties of Optimized Diamond Lattice Structure for Bone Scaffolds Fabricated via Selective Laser Melting”, *Materials*, c. 11, sy 3, s. 374, Mar. 2018.
- [31] S. Ahmadi *vd.*, “Additively Manufactured Open-Cell Porous Biomaterials Made from Six Different Space-Filling Unit Cells: The Mechanical and Morphological Properties”, *Materials*, c. 8, sy 4, ss. 1871-1896, Nis. 2015.
- [32] A. Ataei, Y. Li, D. Fraser, G. Song, ve C. Wen, “Anisotropic Ti-6Al-4V gyroid scaffolds manufactured by electron beam melting (EBM) for bone implant applications”, *Materials & Design*, c. 137, ss. 345-354, Oca. 2018.
- [33] H. Mehboob, F. Tarlochan, A. Mehboob, ve S.-H. Chang, “Finite element modelling and characterization of 3D cellular microstructures for the design of a cementless biomimetic porous hip stem”, *Materials & Design*, c. 149, ss. 101-112, Tem. 2018.
- [34] C.-C. Chang, S. Zhou, ve Q. Li, “Optimization of Effective Diffusivity by Iso-surface Modeling”, *10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*, s. 6, 2013.
- [35] I. Hernandez, A. Kumar, ve B. Joddar, “A Bioactive Hydrogel and 3D Printed Polycaprolactone System for Bone Tissue Engineering”, *Gels*, c. 3, sy 3, s. 26, Tem. 2017.
- [36] S. M. Giannitelli, D. Accoto, M. Trombetta, ve A. Rainer, “Current trends in the design of scaffolds for computer-aided tissue engineering”, *Acta Biomaterialia*, c. 10, sy 2, ss. 580-594, Şub. 2014.
- [37] C. Yan, L. Hao, A. Hussein, ve P. Young, “Ti–6Al–4V triply periodic minimal surface structures for bone implants fabricated via selective laser melting”, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, c. 51, ss. 61-73, Kas. 2015.
- [38] B. Levine, “A New Era in Porous Metals: Applications in Orthopaedics”, *Advanced Engineering Materials*, c. 10, sy 9, ss. 788-792, Eyl. 2008.
- [39] A. Rahimizadeh, Z. Nourmohammadi, S. Arabnejad, M. Tanzer, ve D. Pasini, “Porous architected biomaterial for a tibial-knee implant with minimum bone resorption and bone-implant interface micromotion”, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, c. 78, ss. 465-479, Şub. 2018.
- [40] L. E. Murr, S. M. Gaytan, E. Martinez, F. Medina, ve R. B. Wicker, “Next Generation Orthopaedic Implants by Additive Manufacturing Using Electron Beam Melting”, *International Journal of Biomaterials*, c. 2012, ss. 1-14, 2012.
- [41] B. Jetté, V. Brailovski, M. Dumas, C. Simoneau, ve P. Terriault, “Femoral stem incorporating a diamond cubic lattice structure: Design, manufacture and testing”, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, c. 77, ss. 58-72, Oca. 2018.
- [42] Xilloc, “Total jaw implant | Xilloc”, *Total Jaw Implant*, 2011. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.xilloc.com/patients/stories/total-mandibular-implant/>. [Erişim: 14-Ara-2018].

- [43] C. Mertens, H. Löwenheim, ve J. Hoffmann, “Image data based reconstruction of the midface using a patient-specific implant in combination with a vascularized osteomyocutaneous scapular flap”, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, c. 41, sy 3, ss. 219-225, Nis. 2013.
- [44] A. L. Jardini vd., “Cranial reconstruction: 3D biomodel and custom-built implant created using additive manufacturing”, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, c. 42, sy 8, ss. 1877-1884, Ara. 2014.
- [45] A. R. Studart, “Biological and Bioinspired Composites with Spatially Tunable Heterogeneous Architectures”, *Advanced Functional Materials*, c. 23, sy 36, ss. 4423-4436, Eyl. 2013.
- [46] Z. Liu, M. A. Meyers, Z. Zhang, ve R. O. Ritchie, “Functional gradients and heterogeneities in biological materials: Design principles, functions, and bioinspired applications”, *Progress in Materials Science*, c. 88, ss. 467-498, Tem. 2017.
- [47] A. Panesar, M. Abdi, D. Hickman, ve I. Ashcroft, “Strategies for functionally graded lattice structures derived using topology optimisation for Additive Manufacturing”, *Additive Manufacturing*, c. 19, ss. 81-94, Oca. 2018.
- [48] E. Garner, H. M. A. Kolken, C. C. L. Wang, A. A. Zadpoor, ve J. Wu, “Compatibility in Microstructural Optimization for Additive Manufacturing”, s. 12, 2018.
- [49] S. Arabnejad, B. Johnston, M. Tanzer, ve D. Pasini, “Fully porous 3D printed titanium femoral stem to reduce stress-shielding following total hip arthroplasty: FULLY POROUS 3D PRINTED TITANIUM FEMORAL STEM”, *Journal of Orthopaedic Research*, c. 35, sy 8, ss. 1774-1783, Ağu. 2017.
- [50] L. Wang, J. Kang, C. Sun, D. Li, Y. Cao, ve Z. Jin, “Mapping porous microstructures to yield desired mechanical properties for application in 3D printed bone scaffolds and orthopaedic implants”, *Materials & Design*, c. 133, ss. 62-68, Kas. 2017.
- [51] T. A. Schaedler ve W. B. Carter, “Architected Cellular Materials”, *Annual Review of Materials Research*, c. 46, sy 1, ss. 187-210, 2016.
- [52] D. Li, W. Liao, N. Dai, G. Dong, Y. Tang, ve Y. M. Xie, “Optimal design and modeling of gyroid-based functionally graded cellular structures for additive manufacturing”, *Computer-Aided Design*, c. 104, ss. 87-99, Kas. 2018.
- [53] D. D. Lima vd., “Laser additive processing of a functionally graded internal fracture fixation plate”, *Materials & Design*, c. 130, ss. 8-15, Eyl. 2017.
- [54] M. Dumas, P. Terriault, ve V. Brailovski, “Modelling and characterization of a porosity graded lattice structure for additively manufactured biomaterials”, *Materials & Design*, c. 121, ss. 383-392, May. 2017.
- [55] A. Boccaccio, A. E. Uva, M. Fiorentino, G. Mori, ve G. Monno, “Geometry Design Optimization of Functionally Graded Scaffolds for Bone Tissue Engineering: A Mechanobiological Approach”, *PLOS ONE*, c. 11, sy 1, s. e0146935, Oca. 2016.
- [56] X.-Y. Zhang, G. Fang, S. LeeFlang, A. A. Zadpoor, ve J. Zhou, “Topological design, permeability and mechanical behavior of additively manufactured functionally graded porous metallic biomaterials”, *Acta Biomaterialia*, c. 84, ss. 437-452, Oca. 2019.
- [57] D. S. J. Al-Saedi, S. H. Masood, M. Faizan-Ur-Rab, A. Alomarah, ve P. Ponnusamy, “Mechanical properties and energy absorption capability of functionally graded F2BCC lattice fabricated by SLM”, *Materials & Design*, c. 144, ss. 32-44, Nis. 2018.

Development of Simulation for Artificial Intelligence Techniques in Smart Homes

Hüseyin GÜNEŞ^{1,*} Sabri BİÇAKCI¹ Emre ORTA² Davut AKDAŞ²

¹Balikesir University, Faculty of Engineering, Mechatronics Engineering, 10145, Altieylul/BALIKESİR

²Balikesir University, Faculty of Engineering, Electrical – Electronics Engineering, 10145, Altieylul/BALIKESİR

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 15/03/2019

Revision 28/06/2019

Accepted: 28/06/2019

Highlights

- Test environment for smart home AI algorithms.
- Creating flexible scenarios.
- Real-time intervention to the simulation system during test period

Keywords

Smart Home
Simulation
Neutral Point Clamped
Artificial Intelligence

In this study, a customized simulation has been developed to test artificial intelligence algorithms for smart homes. In the simulation, a house with the desired number of rooms can be created and smart home components with the desired number and different tasks can be added to this house. Then, virtual individuals who will use this simulated house and weekly living scenarios for these individuals can be created. After all these operations, the system simulates a smart home in real time according to the directives from outside operators. During the simulation, the desired artificial intelligence algorithms can be run on the system and their operations can be monitored. In addition, the system can be intervened from the planned scenarios to create desired conditions at any time.

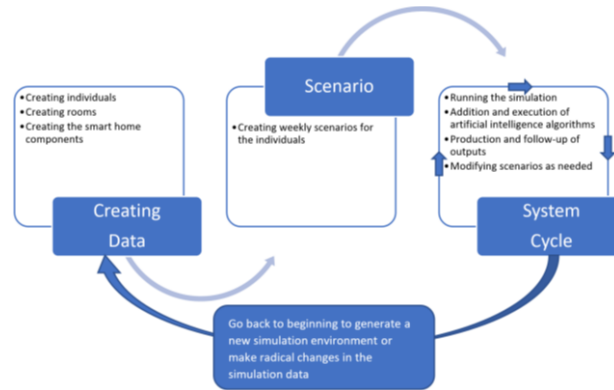


Figure A. Block schema of the system

Purpose: In order for the artificial intelligence algorithms to work properly, they must be continuously tested and developed under different living conditions. The realization of the algorithm tests in real environments bring many problems and reduce the efficiency. Algorithm development and improvement can also be done in a simulation environment for smart homes as done in similar situations in many different disciplines. In this study, a customized simulation has been developed to test artificial intelligence algorithms for smart homes.

Theory and Methods: In the simulation, a house with the desired number of rooms can be created and smart home components with the desired number and different tasks can be added to this house. Then, virtual individuals who will use this simulated house and weekly living scenarios for these individuals can be created. After all these operations, the system simulates a smart home in real time according to the directives from outside operators. During the simulation, the desired artificial intelligence algorithms can be run on the system and their operations can be monitored.

Results: In the study, the simulation was run for over a month and it was demonstrated that the artificial intelligence algorithms were executed successfully by performing the operations according to the determined scenarios without any problems.

Conclusion: When compared with other smart home simulation studies in the literature, other simulations are managed by real users or while the behavior of the real person is repeated, this study works autonomously and can create weekly life scenarios as desired. In addition, it eliminates this deficiency in the literature by enabling real-time testing of artificial intelligence algorithms.



Akıllı Evlerde Kullanılan Yapay Zekâ Teknikleri için Simülasyon Geliştirilmesi

Hüseyin GÜNEŞ^{1,*} Sabri BİÇAKCI¹ Emre ORTA² Davut AKDAŞ²

¹Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 10145, Altteyül/BALIKESİR

²Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği, 10145, Altteyül/BALIKESİR

Öz

Sürekli gelişen teknoloji ile birlikte insan yaşamının büyük bir kısmının içinde geçirdiği evler değişime uğramış ve akıllı ev kavramı ortaya çıkmıştır. Bununla beraber akıllı evlerde, birçok işlemin otomatik olarak gerçekleştirilebilmesi ve akıllı evin, evde yaşayan bireylere göre özel çözümler üretebilmesi için yapay zekâ algoritmaları kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekâ algoritmalarının düzgün bir şekilde çalışabilmesi için sürekli olarak farklı koşullar altında test edilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Algoritma testinin gerçek ortamlarda gerçekleştirilmesi ise birçok sorunu beraberinde getirmekte ve verimliliği düşürmektedir. Akıllı evler ve farklı disiplinlerdeki benzer durumlarda algoritma geliştirme ve iyileştirme çalışmaları simülasyon ortamında da yapılabilmektedir. Bu çalışmada, akıllı evler için geliştirilen yapay zekâ algoritmalarının test edilebilmesi için özelleştirilmiş bir simülasyon geliştirilmiştir. Simülasyonda ilk olarak istenilen sayıda odaya sahip bir ev oluşturulabilmekte ve bu eve istenilen sayıda ve farklı görevleri olan akıllı ev bileşenleri eklenebilmektedir. Daha sonra bu evi kullanacak sanal bireyler ve bu bireyler için haftalık yaşam senaryoları oluşturulabilmektedir. Tüm bu işlemlerin ardından sistem verilen girdiler doğrultusunda gerçek zamanlı olarak bir akıllı evi simüle etmektedir. Simülasyon sırasında istenilen yapay zekâ algoritmaları sistem üzerinde çalıştırılabilmekte ve yaptıkları işlemler takip edilebilmektedir. Ayrıca sisteme istenilen her an senaryolar dışında farklı şartlar oluşturmak için müdahale edilebilmektedir. Çalışmada son olarak geliştirilen simülasyon bir ay boyunca çalıştırılmış ve herhangi bir sorun çıkmadan belirlenen senaryolara göre işlemleri gerçekleştirerek yapay zekâ algoritmalarını çalıştırdığı tespit edilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 15/03/2019

Düzeltilme: 28/06/2019

Kabul: 28/06/2019

Anahtar Kelimeler

Akıllı Ev
 Simülasyon
 Yapay Zekâ

Keywords

Smart Home
 Simulation
 Neutral Point Clamped
 Artificial Intelligence

Development of Simulation for Artificial Intelligence Techniques in Smart Homes

Abstract

With the ever-evolving technology, homes where most of the human life was spent have changed and the concept of smart homes have emerged. In addition to this, artificial intelligence algorithms have been used in smart homes in order to be able to perform many tasks automatically and to produce specialized solutions to residents who live in the house. In order for the artificial intelligence algorithms to work properly, they must be continuously tested and developed under different living conditions. The realization of the algorithm tests in real environments bring many problems and reduce the efficiency. Algorithm development and improvement can also be done in a simulation environment for smart homes as done in similar situations in many different disciplines. In this study, a customized simulation has been developed to test artificial intelligence algorithms for smart homes. In the simulation, a house with the desired number of rooms can be created and smart home components with the desired number and different tasks can be added to this house. Then, virtual individuals who will use this simulated house and weekly living scenarios for these individuals can be created. After all these operations, the system simulates a smart home in real time according to the directives from outside operators. During the simulation, the desired artificial intelligence algorithms can be run on the system and their operations can be monitored. In addition, the system can be intervened from the planned scenarios to create desired conditions at any time. In the study, the simulation was run for over a month and it was demonstrated that the artificial intelligence algorithms were executed successfully by performing the operations according to the determined scenarios without any problems.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte insanların hayatlarında sıklıkla kullandıkları birçok materyal, ürün, eşya vb. değişime uğramıştır. Bahsedilen bu teknolojik değişimler sonucunda insanların yaşamını sürdürdüğü evlerde değişime uğrayarak akıllı ev kavramı ortaya çıkmıştır. Akıllı ev, evde yaşayan kişilerin daha rahat bir ortama sahip olabilmeleri için çeşitli teknolojilerden faydalanılan ev olarak tanımlanmıştır [1].

Akıllı ev; evin aydınlatma, güvenlik, havalandırma, sıcaklık vb. sistemlerinin kullanıcı tarafından daha kolay kontrol ve takip edilebilmesini sağlamaktadır. Bu evler, ilk dönemlerinde yalnızca kullanıcı tarafından evin kolay bir şekilde kontrol edilebilmesini sağlarken, zamanla birlikte ev sakinlerinin yaşam şekillerini öğrenerek otonom olarak evin kontrolünü sağlamaya başlamışlardır. İçinde bulunduğumuz zaman itibarıyla akıllı evler, çeşitli yöntemlerle uzaktan kontrol edilebilen evler olarak nitelendirilse de artık akıllı evlere yönelik yeni yaklaşımlar bu nitelemenin ötesine geçmiştir. Araştırmacılara göre akıllı evler, o evde yaşayan kişilere göre özel çözümler üretebilen evlerdir [2].

Akıllı ev sistemlerinin, ev sakinlerine özel çözümler üretebilmesi için bir yapay zekâya sahip olması gerekmektedir. Bu sistemlerde; bulanık mantık, yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, istatistiksel yöntemler, Markov modelleri, Naive Bayes, karar ağaçları, çok ajanlı sistemler v.b. tekniklerin kullanıldığı yapay zekâ algoritmaları, sıklıkla kullanılmaktadır. Akıllı ev sistemlerinde bu yapay zekâ algoritmaları ile ev sakinlerinin rutin işlemleri belirlenerek bu rutin işlemlerin otonom gerçekleştirilmesi sağlanmakta, ayrıca priz, aydınlatma, ısıtma ve soğutma vb. sistemler de çevre ve diğer şartlara uygun olarak otonom kontrol edilebilmektedirler [3,4].

Bir akıllı evin, yapay zekâ algoritmaları ile otonom işlemler gerçekleştirebilmesi için, öncelikle evde yaşayan bireylerin günlük hayatlarında ev içerisinde neler yaptıklarına dair verilerin toplanması gerekir. Ardından toplanan veriler, bu bireylerin hayatlarındaki davranışların belirlenmesinde ve bir sonraki işlemin tahmininde kullanılır. Tahmin işleminin doğru bir şekilde yapılabilmesi için ev otomasyon sisteminde kullanılan yapay zekâ algoritmalarının doğru bir şekilde çalışması gerekmektedir. Bunun için, bu algoritmaların devamlı olarak test edilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir.

Algoritma geliştirilirken kullanılacak olan veriler, gerçek veya yapay olarak üretilebilmekte ve kullanılabilir. Ancak sistemin test edilirken ilk aşamadan itibaren gerçek bir ortamda test edilmesi birçok sorunun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Sorunlardan başlıcaları; gerçek bir ortamda yapılan hatalı işlemlerin ev sakinlerinin konforunu artırmak yerine düşürmesi, özellikle ısıtma ve aydınlatma sistemindeki hataların gereksiz enerji harcamalarına neden olması, yapılan testlerin takip edilme zorluğu ve farklı şartlar altında test etmenin bazen zor, bazen hiç mümkün olmamasıdır [5]. Bilim dünyasında buna benzer olarak nükleer bir patlama ya da bir barajın çöküşü gibi gerçek ortamda bire bir deney yapılması mümkün olmayan durumlarda, rüzgâr veya güneş enerjisinin verimliliğinin ölçümü gibi süreleri çok uzun zaman alan uygulamalarda ya da benzer başka şartlarda simülasyonlardan faydalanılmaktadır [6,7,8].

Simülasyon kelime olarak Türkçe’de benzetim, benzerini yapma, taklit etme anlamlarına gelmektedir [9]. Akıllı ev simülasyonu ise bir evin sakinleri ile birlikte o evde bulunabilecek akıllı ev bileşenlerinin bilgisayar ortamında sanal olarak yaşatılmasıdır şeklinde tanımlanabilir. Literatürde tümüyle bir akıllı ev ya da akıllı evlerde kullanılan bileşenler için farklı şekillerde simülasyonlar geliştirilmiştir.

Evde güneş enerjisi ve şehir şebekesinden gelen elektriğin daha verimli kullanımı konusunda yapılan bir çalışmada HEM isimli bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritma MAT-LAB/Simulink ortamında simüle edilerek test edilmiştir [10]. Buna benzer bir çalışmada ise evin şehir şebekesinden çektiği toplam elektrik enerji miktarı ve ev içerisinde bulunan bileşenlerin ayrı ayrı harcadıkları elektrik enerjileri belirlenebilmektedir. Daha sonra evde çalışan elektrikli aletlere öncelik sırası verilerek enerjinin en verimli şekilde nasıl kullanılabileceğini hesaplayan bir simülasyon ve değerlendirme sistemi geliştirilmiştir [11].

Üç Boyutlu (3B) olarak bir ev tasarlamaya imkan sunan farklı bir simülasyon çalışmasında, tasarlanan eve insanlar ile etkileşime girecek aygıtlar eklenebilmektedir. Son olarak gerçek kullanıcılar bu sanal evin içerisinde bir karakteri web tabanlı olarak menülerden yöneterek bu tasarlanan akıllı evi kullanabilmektedir [12]. Benzer bir çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak bilgisayar ortamında 3B bir akıllı ev ve bileşenleri tasarlanmıştır. Daha sonra kullanıcıların sanal gerçeklik gözlükleri ile bu evi kullanabileceği bir simülasyon geliştirilmiştir [13].

Ajan modellemesi kullanılarak geliştirilen bir simülasyonda enerji tasarruflu ve hareket sensörlü akıllı aydınlatma armatürleri ile ev içi takip sisteminin simülasyonu geliştirilmiştir. Bu simülasyonda evin çizimi yapılarak armatürler istenilen noktalara konumlandırılabilir. Daha sonra istenilen pozisyonlarda sensörlerin kişileri görüp göremediği simüle edilmektedir [14].

Kişilerin kendilerine en uygun akıllı ev konfigürasyonunu satın almadan önce oluşturup test edebilmesini sağlayan farklı bir simülasyon çalışmasında kişi için 5 temel ihtiyaç belirlenmiştir. Bunlar; açlık, temizlik, eğlence, enerji ve tuvalet ihtiyacıdır. Akıllı ev bileşenleri bu ihtiyaçlara yönelik olarak hizmet verebilecek şekilde ev içerisinde yerleştirilebilmektedir. Simülasyon daha sonra istenilen kadar süre de bu ihtiyaçların mevcut bileşenlerle ne oranda karşılandığını hesaplamaktadır [15].

Kendi evlerinde yaşayan yaşlı insanlara destek olması amacıyla geliştirilen bir simülasyonda evde yaşayan kişinin davranışları incelenmekte ve problem oluşturan eylemler keşfedilmektedir. 3B olarak geliştirilen simülasyon ile sanal bir ortamda senaryoların, objelerin, insanların ve sensörlerin oluşturulması ve modellenmesi sağlanmıştır. Bunun yanında gerçekçi senaryolar oluşturularak, yapılan test sonuçları ile sanal ortamdan gerçek ortama geçiş sağlanmakta ve böylece bu işlem için harcanacak zaman ve para, oldukça azaltılmaktadır [16].

Alshammari ve ark. (2017) 3B bir akıllı ev simülasyonu geliştirmişlerdir. Bu simülasyon ile 3B olarak bir akıllı ev ve bileşenleri ile aktiviteler tasarlanabilmektedir. Daha sonra bu 3B ortamda bu evi kullanarak aktivitelerini gerçekleştirebilmektedir. Çalışmada ayrıca kişi aktivitelerinin kayıtları tutulmakta ve istenirse kişi aktivitelerine göre daha uzun süreli veri setleri oluşturulabilmektedir. Bu veriler daha sonra makine öğrenmesi çalışmalarında kullanılabilir [17].

Literatürde yapılan simülasyon çalışmaları genel olarak ele alındığında farklı alanlara yönelik çok çeşitli çalışmalar bulunduğu görülmektedir. Ancak incelenen çalışmalarda akıllı ev simülasyonları gerçek kullanıcılar tarafından yönetilmekte ya da gerçek kişinin davranışları tekrar ettirmektedir. Ayrıca aynı anda tek bir kullanıcı evi kontrol edebilmektedir. Bunun yanında yapay zekâ algoritmalarının gerçek zamanlı testine imkân tanıyan bir çalışma da bulunmamaktadır. Bu çalışmada bu eksiklikleri dikkate alarak olabildiğince esnek özelliklere sahip bir akıllı ev simülasyonu geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon ile diğer çalışmalara benzer şekilde istenilen sayıda odaya ve bu odalarda istenilen sayıda akıllı ev bileşenine yer verilebilecek şekilde bir ev tasarlanabilmektedir. Bu özelliklere ek olarak bu evi kullanabilecek sanal aile bireyleri de simülasyona eklenebilmektedir. Ayrıca bu sanal bireyler için haftalık yaşam senaryoları da oluşturulabilmektedir. Simülasyon çalıştırıldığında sanal bireyler bu senaryolara göre akıllı evi kullanmaktadır. Bununla birlikte istenildiğinde akıllı evin hem sanal sakinlerine hem de bileşenlerine müdahale edilebilmektedir. Yine diğer çalışmalardan farklı olarak gerçek zamanlı olarak yapay zeka algoritmaları simülasyon arayüzünde test edilebilmekte ve çıktıları yine gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir.

2. YÖNTEM (METHODE)

Bu çalışmada, akıllı evlerde kullanılan yapay zekâ algoritmalarının test edilebilmesini ve aynı zamanda o akıllı evin gözlemlenebilmesini ve gerektiğinde kontrol edilebilmesini sağlayan bir akıllı ev simülasyonu geliştirilmiştir.

Çalışmaya ilk olarak yapay zekâ algoritmalarının test edilebileceği bir akıllı ev simülasyonunun öğeleri ve nasıl çalışması gerektiği belirlenerek başlanmıştır. Öncelikle algoritmaların farklı ev yapılarında test edilmesi gerektiğinden, simülasyonda esnek şekilde istenilen sayıda odaya sahip bir ev oluşturabilecek yapı kurulmasına karar verilmiştir. Bununla birlikte bu evde farklı odalarda farklı akıllı ev bileşenleri bulunabilmelidir. Bu yüzden istenilen odaya istenilen türde akıllı ev bileşenleri yerleştirilebilecek bir yapı geliştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Son olarak akıllı evleri gerçek hayatta farklı sayıda ve farklı ev kullanım alışkanlıkları olan insanlar kullanabileceği için simülasyona istenilen sayıda sanal kişi ve bu kişilere kendilerine özgü yaşam senaryoları oluşturulabilecek bir yapı oluşturulmasına karar verilmiştir.

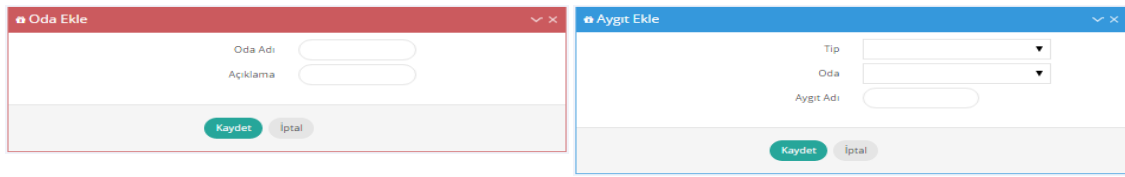
Akıllı evlere yönelik olarak yaşlı bireyleri takip, güvenlik sistemleri ya da daha farklı amaçlar için çok farklı yapay zekâ algoritmaları geliştirilmiştir. Ancak akıllı evler için geliştirilen yapay zekâ algoritmaları genel olarak ev sakinlerinin konforunu artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla geliştirilmektedir.

Bu çalışmada geliştirilmiş olan simülasyonda da bu dikkate alınarak akıllı eve eklenebilecek ve kontrol edilebilecek bileşenler için priz, aydınlatma ve ısıtma bileşeni sınırlaması getirilmiştir.

Tasarım aşamasında son olarak simülasyonun her türlü aygıttan kontrol ve takibinin yapılabilmesi için web tabanlı olarak geliştirilmesine ve sorunsuz bir şekilde uzun süre çalışabilmesi için sunucu bir bilgisayarda koşulmasına karar verilmiştir.

2.1 Akıllı Ev Oluşturma Aracı Bileşenleri (Smart Home Creation Tool Components)

Çalışmada akıllı evin sanal olarak oluşturulabilmesi için istenilen sayıda oda oluşturulabilen bir araç geliştirilmiştir. Bu araç ile sadece odanın adı ve kısa bir açıklama bilgisi girilerek oda oluşturulmaktadır. Daha sonra oluşturulan odalara akıllı ev bileşenlerini ekleyecek araç geliştirilmiştir. Bu araç ile aygıt tipi, bulunacağı oda ve aygıtın adı girilerek ilgili odaya ilgili akıllı ev bileşeni eklenebilmektedir. Oda ve aygıt ekleme araçlarına ait ekran görüntüsü Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Oda ve Akıllı Ev Bileşeni Oluşturma Araçları

2.2 Sanal Ev Sakinleri ve Senaryoları (Virtual Home Residents and Scenarios)

Simülasyonda gerçek kişilerin yerini alacak sanal kişiler oluşturabilmek için sanal birey oluşturma aracı geliştirilmiştir. Bu araç ile kişi oluşturulurken sanal kişinin simülasyonda görülecek olan kısa adı (en fazla 2 harfli bir kod) ve kişiyi tanımlayıcı kısa bir bilgi girilmektedir.

Sanal kişinin tanımlanmasının ardından kişi için yaşam senaryolarının belirlenebileceği bir araç geliştirilmiştir. Bu araç ile sanal kişinin haftalık olarak ne zaman hangi odaya giriş-çıkış yapacağı, evden ne zaman çıkıp eve ne zaman döneceği, hangi akıllı aygıtı ne zaman açıp kapatacağı ya da kullanacağı, aygıt kullandığında hangi aralıkta değerler belirleyeceği, yaşadığı ortamlarda tercih ettiği sıcaklık ve aydınlık seviyeleri bilgileri belirlenmektedir. Şekil 2’de senaryo oluşturma ekranının bir bölümü görülmektedir.

	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Uyanma	8:15	8:20	8:30	8:35	8:45	10:00	10:00
Uyuma	23:00	23:00	23:00	23:00	0:00	1:30	0:30
Ev Giriş	17:10	17:15	17:10	17:15	17:10	19:00	17:00
	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]
Ev Çıkış	13:30	11:05-13:30	13:30	13:30	13:30	17:00	13:00
	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]
Salon Giriş	10:00-12:10:	10:00-12:10:	10:00-12:10:	10:00-12:10:	10:00-12:10:	22:10	22:00
	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]	[09:00-17:30-21:50]

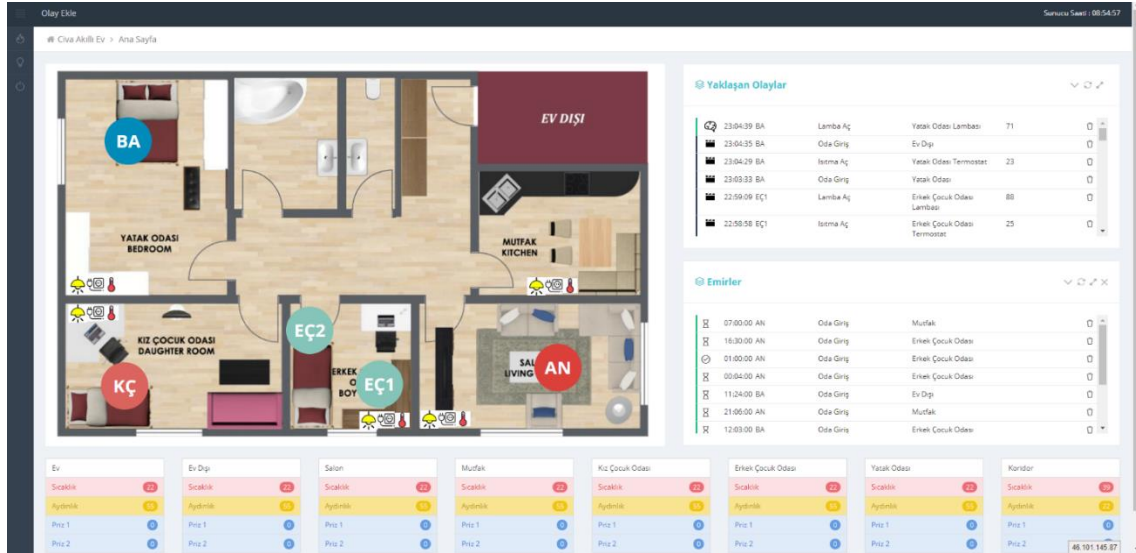
Şekil 2. Sanal kişi haftalık senaryo giriş aracı

İnsanların genel rutin alışkanlıkları olsa da hiç kimse her gün tam olarak aynı şeyi aynı zamanda yapmamaktadır. Örneğin bir kişi her gün 17.00 civarı işten dönmektedir, tam olarak her gün 17.00'da işten dönmemektedir. Mutlaka bu genel rutin işlerde zaman sapmaları meydana gelmektedir. Bu durumları göz önüne alarak her sanal kişi için eve ve odalara giriş-çıkış vakitlerinde ve diğer yaptığı ayarlarda gerçek hayata uygun olarak sapma aralığı değerleri de yine kişi senaryo giriş aracından belirlenebilmektedir.

2.3 Simülasyon Altyapısı (Simulation Infrastructure)

Akıllı ev, bileşenler, ev sakinleri ve senaryoların oluşturulmasının ardından bu verilere göre simülasyonun işleyişini sağlayacak yazılım Node.js çalıştırma ortamında çalışacak şekilde Javascript programlama dili ile geliştirilmiştir. Yine Node.js çalıştırma ortamı için geliştirilmiş PM2 (Gelişmiş Node.js süreç yönetici yazılım) uygulamasından faydalanılarak simülasyonun olası kilitlenme, sistemin yeniden başlatılması gibi durumlarda simülasyonun otomatik olarak yeniden başlatılması ve böylece kesintisiz çalışması sağlanmıştır [18]. Çalışmada Node.js tercih edilmesinin sebebi derleme gerektirmeden, her platformda sorunsuz ve diğer dillere oranla hızlı çalışmasıdır [19].

Simülasyonun takip edilebilmesi ve gerektiğinde müdahalede bulunulabilmesi için HTML, CSS ve JavaScript programlama dillerinden faydalanılarak bir web arayüzü oluşturulmuştur. Bu web arayüzü ile akıllı ev, bileşenler ve kişiler kuş bakışı ve gerçek zamanlı olarak görüntülenmektedir (bkz. Şekil 3).



Şekil 3. Simülasyon web arayüzü

Şekil 3'te evin kuşbakışı görüntüsünün üstünde yer alan içinde iki harfin bulunduğu yuvarlaklar sanal kişileri ifade etmektedir. Bu yuvarlaklar kişiler oda değiştirdikçe otomatik olarak o odanın içerisinde görüntülenmektedir. Oda içindeki konumları ise üst üste gelmeyecek şekilde rastgele üretilmektedir. Odalarda bulunan lamba, sıcaklık ve priz simgeleri ise o odada bulunan akıllı ev bileşenlerinin türlerini simgelemektedir.

Arayüzün sağ tarafında iki tablo yer almaktadır. Üstte yer alan tablo, kişilerin belirlenen senaryolarına göre yapacakları yaklaşmakta olan işlemleri yani olay ufkunu göstermektedir. Altta yer alan tablo ise senaryo dışında yönetici tarafından verilmiş emirleri göstermektedir. Sayfanın alt tarafında bulunan ufak tablolar ise akıllı evde bulunan bütün odaların sıcaklık ve aydınlık verileri ile odalarda bulunan prizlerin durumlarını göstermektedir.

Arayüzde ortadaki görsel kısım dışında ekranın üstünde ve solunda menüler bulunmaktadır. Sol tarafta bulunan menülerde odalarda bulunan akıllı ev bileşenlerinin doğrudan kontrollerinin yapılabildiği kontrol birimleri yer almaktadır. Buradan anlık olarak istenilen odada yer alan sıcaklık, aydınlatma ya da priz bileşenin mevcut ayarı görülebilmekte ve değiştirilebilmektedir. Şekil 4'te tüm odaların sıcaklık ayarlarının yapılabildiği menü görülmektedir.



Şekil 4. Sıcaklık bileşenleri ayar menüsü

Üst kısımda yer alan “Olay Ekle” menüsü ile senaryoların dışında eylemler eklenebilmektedir. Örneğin bir kişinin bir odadan başka bir odaya geçmesi ya da bir akıllı ev bileşeninin ayarını değiştirme işlemi zaman belirtilerek bu menüden eklenmekte ve zamanı geldiğinde sistem tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

2.4 Yapay Zekâ Algoritmalarının Sisteme Entegrasyonu (Integration of Artificial Intelligence Algorithms to the System)

Simülasyon üzerinde test edilecek yapay zekâ algoritmalarının işlem yapabilmesi için öncelikle sistemin kayıtlarına ulaşabilmesi gerekmektedir. Bunun için sistem üzerinde işlemler her noktadan erişilebilen bir veri tabanı yönetim sisteminde kayıt altına alınmıştır (Maria DB). Simülasyon üzerinde algoritma geliştirmek isteyen araştırmacı sistemin IP adresini ve kendisine sunulan kullanıcı adı ve şifreyi girerek kayıtlara erişebilmektedir.

Kayıtlara erişen araştırmacı istediği programlama dilini kullanarak bu kayıtları işleyebilir ve algoritmasını geliştirebilir. Geliştirilen algoritma simülasyon ile aynı bilgisayarda olabileceği gibi farklı bir bilgisayarda da çalıştırılabilir. Son olarak araştırmacının yaptığı çıkarımlar sonucunda gelecekte olabilecek olayları veri tabanında yer alan “Yaklaşan Olaylar” tablosuna kaydetmesi yeterlidir. Kaydedilen bu tahmin Simülasyon Web Arayüzü’nde farklı bir simge ile yaklaşmakta olan olaylar tablosunda listelenmektedir (bkz. Şekil 3). Böylece araştırmacı simülasyonda yaklaşan olaylar ile kendi geliştirdiği algoritmanın ürettiği olayları karşılaştırabilmekte ve algoritmasının başarımını test edebilmektedir. Örneğin kişilerin ne zaman eve girdiklerini ve çıktıklarını tahmin edebilen bir algoritma test edilebilmektedir.

Gelecekte yaşanacak olayların yanında kişilerin senaryoda belirlenmiş olan sıcaklık ve aydınlık gibi kişisel tercihlerini tahmin edebilen bir algoritma da geliştirilip test edilebilir. Örneğin kullanıcı herhangi bir işlem yapmadan bir odaya girdiğinde sıcaklık ve aydınlık düzeylerini otonom olarak belirleyen bir yapay zekâ algoritması da yine sistem üzerinde geliştirilip test edilebilir. Algoritmanın başarım testi tahminler ile senaryolarda belirlenen değerler karşılaştırılarak yapılabilir.

Evdeki bireylerin günlük yaşam senaryoları tatile çıkmak, okula başlamak, yeni bir iş bulmak gibi durumlarda değişimlere uğrayabilmektedir. Kullanıcı konforu için yapay zekâ algoritmalarının böyle durumlara en kısa zamanda uyum sağlaması gerekmektedir. Geliştirilen simülasyonda sistem çalışırken kişiler için belirlenen senaryolar anlık olarak değiştirilebilmektedir. Böylece algoritmaların farklı durumlara uyum sağlama başarımları da test edilebilmektedir.

3. BULGULAR (RESULTS)

Bu bölümde geliştirilen simülasyon üzerinde bir ev, bu evde bulunan bileşenler ve bu evi kullanan bir aile oluşturularak simülasyon test edilmiş ve sonuçları sunulmuştur.

Test işlemi için ilk olarak sistem üzerinde üç oda, bir salon ve bir mutfaktan oluşan tipik bir ev oluşturulmuştur. Bu odalardan biri yatak odası, diğer ikisi ise çocuk odalarıdır. Akıllı ev bileşeni olarak tüm odalara bir tane termostat ve bir tane lamba eklenmiştir. Bunun yanında odalara ve mutfığa ikişer salona

üç tane priz bileşeni eklenmiştir. Bu evi kullanacak aile olarak ise anne, baba ve bir kız ve iki erkek çocuktan oluşan tipik bir çekirdek aile oluşturulmuştur.

Ailenin oluşturulmasının ardından bireyler için haftalık yaşam senaryoları oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle gerçekçi yaşam senaryoları oluşturmak adına bu bireylerin yaşları, işleri vb. kişisel özellikleri belirlenmiştir. Örnek olarak evin babası hafta içi 08.00-17.00 arası çalışan ve işyeri ile evi arasındaki mesafe 30 dakika süren birisidir. Bu kişinin işe geliş gidişleri dışında haftalık yaşam senaryosu ise şöyledir:

- Salı, Perşembe ve Pazar günleri 20.00 – 22.00 arası spora gitmektedir. Evi ile spor salonu arasındaki mesafe, 10 dakikadır.
- Pazartesi ve Çarşamba günleri 21.00 – 23.00 arası eşi ile birlikte dizi izlemektedir.
- Cumartesi günleri 00.00 – 01.00 arası halı saha maçlarına gitmektedir. Maçın yapıldığı yer ile evi arasında 10 dakikalık bir mesafe vardır.
- Pazar günleri 20.00 – 23.00 arası spor programı seyretmektedir.
- Belirtilmeyen diğer günlerde ise 21.00 – 23.00 arası eşi ile beraber salonda vakit geçirmektedir.
- Hafta içi 06.30 – 07.00 arası, hafta sonu ise 10.00 civarı uyanmaktadır.
- Cuma günleri 00.00 – 01.00 arası, Cumartesi günleri 02.00 civarı, haftanın geri kalan günlerinde ise 23.00 civarı uyumaktadır.
- Aydınlatma Tercihi Aralığı: %70-90
- Sıcaklık Tercihi Aralıkları (°C)
 - Gündüz: 25-15
 - Gece: 22-13

Örnek kişi için verilen senaryonun benzeri tüm bireyler için geliştirilmiştir. Daha sonra simülasyon çalıştırılarak algoritmasında bulunan hatalar düzeltilmiştir. Son olarak tüm hatalar düzeltildikten sonra bir hafta boyunca kesintisiz çalıştırılarak takip edilmiştir. Sistemin ürettiği kayıtlar ile senaryolar karşılaştırılmış ve simülasyonunun senaryoya uygun olarak hatasız çalıştığı tespit edilmiştir. Sistemde üretilen kayıtların bir örneği Şekil 5’de görülmektedir.

idincoming_events	date_time	person	device	room	value	operation	type	status	active	▼ 1
69	2018-12-18 17:03:59	4	30	8	28	3	0	1	1	1
70	2018-12-18 17:04:06	4	31	8	85	12	0	1	1	1
71	2018-12-18 17:03:41	6	1	8	0	1	0	1	1	1
72	2018-12-18 17:06:25	6	30	8	25	3	0	1	1	1
73	2018-12-18 17:06:31	6	31	8	89	12	0	1	1	1
74	2018-12-18 17:20:11	1	1	8	0	1	0	1	1	1

Şekil 5. Sistemde üretilen kayıtların veri tabanındaki görüntüsü

Simülasyonda yapay zekâ algoritmalarının test işlemi için simülasyonun kayıtlarına erişerek kullanıcının herhangi bir zamanda hangi odada bulunabileceğini tahmin eden ve kullanıcının sıcaklık ve aydınlık düzeyi tercihlerini tahmin eden iki algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmalar Güneş’in doktora çalışmasında geliştirdiği kullanıcının herhangi bir zamanda hangi odada bulunabileceğini ve kullanıcının sıcaklık ve aydınlık düzeyi tercihlerini tahmin eden iki yapay zekâ algoritmasıdır [20]. Bu iki algoritma simülasyon ile aynı bilgisayarda fakat farklı süreçler olarak koşulmuştur. Bu algoritmalar için iki tane veri tabanı kullanıcısı oluşturulmuş ve bu kullanıcı bilgileri ile kayıtlara erişmişlerdir. İlk algoritma (konum tahmini) bireylerin yakın zamanda yapacakları oda değişikliği ve ev giriş çıkışlarını tahmin etmeye çalışmış yaptığı tahminleri yaklaşan olaylar menüsüne sorunsuzca ekleyebilmiştir. Eklenen olaylar Şekil 3’te yer alan “Yaklaşan Olaylar” tablosunda beyin simgesi ile gösterilen girdilerdir.

İkinci algoritmada aynı şekilde geçmiş kayıtları inceleyerek kullanıcıların aydınlık ve sıcaklık tercihlerini tahmin etmiş ve koşulduğu ekrana çıktı üretmiştir. Algoritmalar simülasyonda olduğu gibi Node.js çalışma ortamında çalışacak şekilde Javascript dili ile geliştirilmiş ve PM2 ile uzun süreli olarak sorunsuz çalışması sağlanmıştır. Şekil 6’da PM2 programının süreç kayıt ekranı görülmektedir. Bu ekranda algoritmalar kişilerin ilk senaryoları ile bir ay boyunca daha sonra ise kişilerin günlük yaşam senaryolarında değişiklikler yapılarak değişen senaryoda iki hafta boyunca çalıştırılmıştır (uptime: 45D). Bu süreçlerde simülasyonun ya da algoritmaların çalışmasında herhangi bir sorun yaşanmamış ve sistem stabil olarak çalışmıştır (restart: 0).

App name	id	version	mode	pid	status	restart	uptime	cpu	mem
simulasyon_isletim	4	N/A	fork	27867	online	0	45D	0%	41.4 MB
simulasyon_web_arayuz_kontrol	3	N/A	fork	28806	online	0	45D	0%	44.4 MB
yapay_zeka_konum_tahmin	7	N/A	fork	27982	online	0	45D	0%	40.2 MB
yapay_zeka_tercih_tahmin	6	N/A	fork	27960	online	0	45D	0%	40.6 MB

Şekil 6. Simülasyon ve yapay zekâ algoritmalarının PM2 süreç kayıtları

4. SONUÇ ve ÖNERİLER (CONCLUSION and RECOMMENDATIONS)

Bu çalışma ile akıllı evler için geliştirilen yapay zekâ algoritmalarının test edilebilmesi için özelleştirilmiş bir akıllı ev simülasyonu geliştirilmiştir. Bu simülasyon ile istenilen sayıda odası ve bu odalarda istenilen sayıda akıllı ev bileşeni bulunan bir ev ve bu evde yaşayan istenilen sayıda bireye sahip bir aile oluşturulabilmektedir. Simülasyonda bu bireyler için haftalık olarak yaşam senaryoları, senaryo dahilinde oluşturulan evi ve evdeki akıllı ev bileşenlerini nasıl kullanacakları belirlenebilmektedir.

Simülasyon için gerekli tanımlamaların yapılmasının ardından simülasyon çalıştırıldığında senaryoları belirlenen bireyler tıpkı oluşturulan sanal ev ve akıllı ev bileşenlerini senaryoya göre kullanıyormuş gibi gerçek zamanlı olarak canlandırılmaktadır. Bu canlandırma işlemi web tabanlı olarak evin kuşbakışı görüntüsünün üzerinde kullanıcıya sunulmaktadır. Kullanıcı web arayüzünden simülasyonun işleyişini takip edebildiği gibi simülasyona anlık olarak müdahale de edebilmektedir.

Simülasyon üzerinde yapay zekâ çalışmaları yapmak istendiğinde kullanıcıya özel belirlenen veri tabanı kullanıcısı ile sistemin ürettiği geçmiş işlem kayıtlarına erişebilmektedir. Daha sonra geliştirilen algoritmalar simülasyon ile aynı ya da farklı bilgisayarlar üzerinde koşulabilmektedir. Algoritma çıktıları ise simülasyon web arayüzüne eklenebilmekte ve simülasyonun gerçek çıktıları ile bu çıktılar aynı ekran üzerinde karşılaştırılabilmektedir. Böylece yapay zekâ algoritmalarının başarımları gerçek zamanlı olarak test edilebilmektedir. Ayrıca senaryolara anlık müdahaleler yapılarak yapay zekâ algoritmalarının değişen durumlara uyum sağlama başarımları da test edilebilmektedir.

Bu çalışma literatürde yapılan diğer akıllı ev simülasyon çalışmaları ile karşılaştırıldığında diğer simülasyonlar gerçek kullanıcılar tarafından yönetilmekte ya da gerçek kişinin davranışları tekrar ettirilirken bu çalışma otonom olarak çalışmakta ve istenilen şekilde haftalık yaşam senaryoları oluşturulabilmektedir. Bunun yanında yapay zekâ algoritmalarının gerçek zamanlı testine imkân tanıyarak literatürdeki bu eksikliği de gidermektedir.

Günümüzde ısıtma, aydınlatma ve prizler dışında birçok farklı akıllı ev bileşeni geliştirilmektedir. Gelecek akıllı evleri konu alan simülasyon çalışmalarında bu bileşenleri de kapsayan simülasyonlar geliştirilebilir. Ayrıca simülasyonların ve gerçek yaşamın bir araya getirildiği ve yapay zekâ algoritmalarının aynı anda hem gerçek ortamda hem de çok farklı şartlarda simülasyon ortamında geliştirilebilmesini ve test edilebilmesini sağlayan hibrit simülasyon çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] J. L. Fernandez, D. Perez ve E. P. Domonte, «An Integrated and Low Cost Home Automation System with Flexible Task Scheduling,» XV Workshop of Physical Agents, Leon, 2019.
- [2] S. Mennicken, J. Vermeulen ve E. M. Huang, «From today's augmented houses to tomorrow's smart homes: new directions for home automation research,» Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, pp. 105-115, 2014.
- [3] M. B. I. Reaz, «Artificial Intelligence Techniques For Advanced Smart Home Implementation,» Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering, no. 2, pp. 51-57, 2013.
- [4] M. R. Alam, M. B. I. Reaz ve M. A. M. Ali, «A Review of Smart Homes—Past, Present, and Future,» Ieee Transactions On Systems, Man, And Cybernetics-Part C: Applications And Reviews, cilt 42, no. 6, pp. 1190-1203, 2012.

- [5] H. Güneş, Öğrenebişlen, Web Tabanlı, Düşük Enerji Tüketimli, Modüler Ev Otomasyon Sistemi Geliştirilmesi, Balıkesir: Tübitak Ulusal Tez Merkezi, 2016.
- [6] B. Aygün, Nükleer Uygulamalarda Radyasyon Güvenliği Amacıyla Yeni Kalkan Malzemelerinin Deneysel ve Monte Carlo Simülasyon Kodları (Cern-Fluka ve Geant4) ile Belirlenmesi ve Fabrikasyonu, Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [7] N. Palamut Kemaloğlu, M. Baduna Koçyiğit ve H. Akay, «Baraj Yıkılması Taşkın Dalgası Yayılımının 1-Boyutlu Sayısal Simülasyonlarla İncelenmesi: Rahmanlar Barajı Örneği,» Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, cilt 7, no. 1, pp. 97-111, 2019.
- [8] A. Aktaş, Y. Kırçiçek ve A. Ş. Şener, «Rüzgâr ve Deniz Akıntı Enerjisinin Tahrik Ettiği Güç Üretim Sisteminin,» Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, cilt 7, no. 1, pp. 141-152, 2019.
- [9] «Türk Dil Kurumu,» [Çevrimiçi]. Available: <http://tdk.gov.tr>. [Erişildi: 2019 03 03].
- [10] S. Rajalingam ve V. Malathi, «HEM algorithm based smart controller for home power management system,» Energy and Buildings, no. 131, pp. 148-192, 2016.
- [11] G. Conte, R. Scaradozzi ve A. Pedale, «Building Simulation/Emulation Environments for Home Automation System,» Mediterranean Conference on Control and Automation, Corfu, 2011.
- [12] J. Lertlakkhanakul, J. W. Choi ve M. Y. Kim, «Building data model and simulation platform for spatial interaction management in smart home,» Automation in Construction, no. 17, pp. 948-957, 2008.
- [13] D. W. Seo, H. Kim, J. S. Kim ve J. Y. Lee, «Hybrid reality-based user experience and evaluation of a context-aware smart home,» Computers in Industry, no. 76, pp. 11-23, 2016.
- [14] A. Vasilateanu ve B. Bernovici, «Lightweight Smart Home Simulation System for Home Monitoring using Software Agents,» Procedia Computer Science, Madeira, 2018.
- [15] A. Vasilateanu, I. A. Popescu, A. S. Cergan ve N. Goga, «Smart Home Simulation System,» 2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering, Edinburgh, 2016.
- [16] N. Noury ve T. Hadidi, «Computer simulation of the activity of the elderly person living independently in a Health Smart Home,» Computer Methods and Programs in Biomedicine, pp. 1216-1228, 2012.
- [17] N. Alshammari, T. Alshammari, M. Sedky ve J. Champion, «OpenSHS: Open Smart Home Simulator,» Sensors, cilt 17, no. 1003, 2017.
- [18] «PM2 Advanced, production process manager for Node.js,» Keymetrics, 2019. [Çevrimiçi]. Available: <http://pm2.keymetrics.io/>. [Erişildi: 02 03 2019].
- [19] «Differences Between Python vs Node.js,» Educba, 2019. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.educba.com/python-vs-node-js/>. [Erişildi: 27 06 2019].
- [20] H. Güneş, Öğrenebilen, Web Tabanlı, Düşük Enerji Tüketimli, Modüle Ev Otomasyon Sistemi Geliştirilmesi, Balıkesir: YÖK Tez Merkezi, 2016.



Analysis of Voltage Stability in IEEE 14-Bus Power System with Extreme Learning Machine

Hakan AÇIKGÖZ^{1,*}, İlhami POYRAZ², Resul ÇÖTELİ³

¹Kilis 7 Aralık University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Electricity and Energy, 79000, KİLİS

²Dicle University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Electricity and Energy, 21830, DİYARBAKIR

³Firat University, Faculty of Technology, Department of Energy Systems Engineering, 23000, ELAZIĞ

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the voltage stability of the IEEE 14-bus power system has been investigated under the different load conditions with the help of the line stability index values by using extreme learning machine (ELM) algorithms. For this purpose, IEEE 14-bus power system model is built in Matlab environment. The load flow analysis of the model is performed by using Newton-Raphson method.

Article Info:

Received: 01/04/2019

Revision: 29/05/2019

Accepted: 13/07/2019

Highlights

- Use of ELM for voltage stability.
- Load flow analysis with Newton-Raphson Method.
- Comparison of different types of activation functions

Keywords

ELM
Newton-Raphson Method
Line Stability Index
Load Flow Analysis

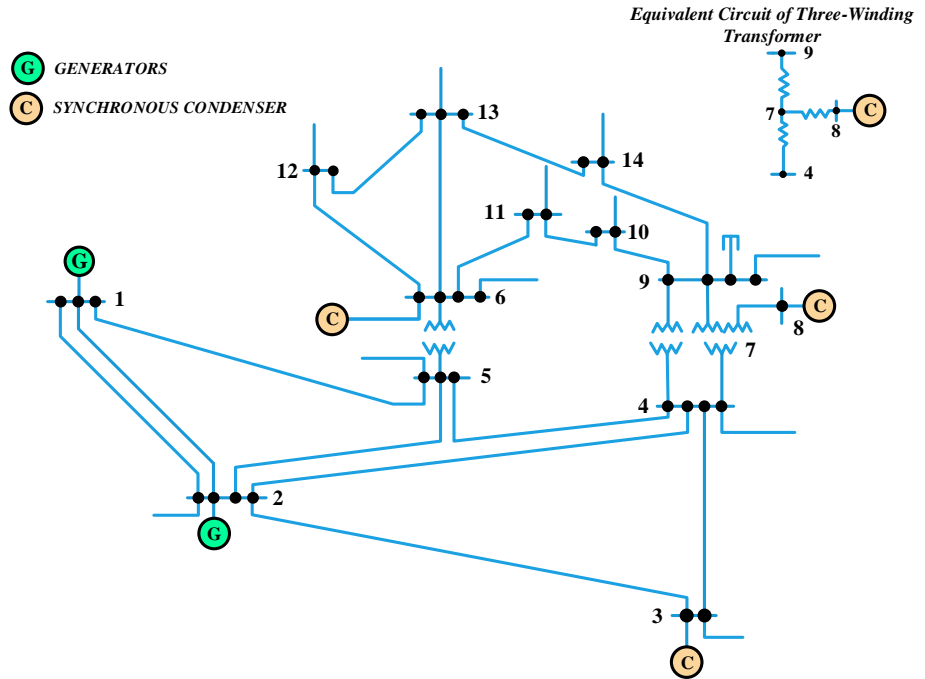


Figure A. IEEE 14-Bus System

Purpose: The voltage stability indices in IEEE 14-bus power system are estimated using ELM. With the help of the superior properties of ELM, it is aimed to predict the voltage faults in the system.

Theory and Methods: The parameters related to IEEE 14-bus system are obtained for load flow analysis. With the help of these values, the line stability index is calculated. Then, comparison is made using different activation functions.

Results: From the obtained regression and estimation curves, it is observed that ELM is predicted the line stability index value with high accuracy.

Conclusion: In this study, ELM is presented for stability analysis of IEEE 14-bus power system. To test the validity of the proposed method, simulation studies are realized using different activation functions. According to the realized studies, it has been shown that ELM has very successful results in determination of voltage stability.

GU J Sci, Part C, 7(3): 564-575 (2019)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

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

IEEE 14-Baralı Güç Sisteminde Gerilim Kararlılığının Uç Öğrenme Makinesi ile Analizi

Hakan AÇIKGÖZ^{1,*}, İlhami POYRAZ², Resul ÇÖTELİ³¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik-Enerji Bölümü, 79000, KİLİS²Dicle Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik-Enerji Bölümü, 21830, DİYARBAKIR³Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 23000, ELAZIĞ

Öz

Günümüzde elektrik enerjisi ihtiyacı, teknolojik gelişmeler sonucunda nüfusla orantılı olarak hızla artmaktadır. Artan bu talebi karşılamak için büyük güçlü üretim merkezleri kurulmuştur. Bu çalışmada, IEEE 14-baralı güç sisteminde gerilim kararlılığı Uç Öğrenme Makinesi (UÖM) yardımıyla incelenmiştir. Bu amaçla, IEEE 14-baralı güç sistemi modeli Matlab ortamında oluşturulmuş ve bu model kullanılarak Newton-Raphson Yöntemi (NRY) yardımı ile yük akış analizi yapılmıştır. Bu güç sisteminde gerilim kararlılığı Hat Kararlılık İndeksi (HKİ) hesaplanarak değerlendirilmiştir. Yük akış analizinde tüm baraların aktif ve reaktif güçleri 0.05 birim değer (pu) artırılmış ve her bir baraya ait toplam 1000 adet aktif güç, reaktif güç, ilgili baranın gerilimi ve faz açısı elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak HKİ değerleri hesaplanmıştır. UÖM'ye girişler; aktif güç, reaktif güç, ilgili baranın gerilimi ve faz açısı seçilmiştir. UÖM'nin çıkışı ise HKİ değerleri olarak belirlenmiştir. UÖM'nin test başarımı 5-kat çapraz doğrulama ile verilmiştir. Ayrıca UÖM'nin başarımı farklı sayıda gizli katman hücre sayısı ve farklı tip aktivasyon fonksiyonları için incelenmiştir. Önerilen yöntemin en iyi test başarımı gizli katman hücre sayısı 100 olan ve tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanan UÖM'den elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, IEEE 14-baralı güç sistemlerinde gerilim kararlılığının tespitinde UÖM'nin HKİ'yi oldukça yüksek bir başarımla tahmin ettiği görülmüştür.

Makale Bilgisi

Başvuru: 01/04/2019

Düzeltilme: 29/05/2019

Kabul: 13/07/2019

Anahtar Kelimeler

Gerilim Kararlılığı
Uç Öğrenme Makinesi
Hat Kararlılık İndeksi

Keywords

Voltage Stability
Extreme Learning Machine
Line Stability Index

Analysis of Voltage Stability in IEEE 14-Bus Power System with Extreme Learning Machine

Abstract

Nowadays, electrical energy needs are increasing rapidly as a result of technological developments. In order to meet this growing demand, power plants have been built. In this study, voltage stability in IEEE 14-bus power system was investigated by means of Extreme Learning Machine (ELM). For this purpose, the IEEE 14-bus power system model was built in Matlab environment and load flow analysis for this model was performed by using the Newton-Raphson Method (NRM). In this power system, the voltage stability was evaluated by calculating the Line Stability Index (LSI). In the load flow analysis, the active and reactive powers of all bus were increased by 0.05 step (pu) and a total of 1000 active power, reactive power, voltage, and phase angle of the respective bus were obtained for each busbar. These values were used to calculate the values of LSI. The inputs of ELM are selected as active power, reactive power, voltage and phase angle of the respective bus. The output of the NRM was determined as LSI values. The test performance of the NRM is given by 5-fold cross-validation. In addition, the ELM's performance was investigated for the different number of hidden layer cell numbers and different types of activation functions. The proposed method provides the best test performance in case of ELM with a hidden layer cell number of 100 and the tangent sigmoid activation function. From the obtained results, it is seen that ELM predicted LSI with a very high performance in determination of voltage stability in IEEE 14-bus power systems.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisi, günümüzde en yaygın olarak kullanılan enerji türüdür. Enerji güç sistem planlayıcıları, minimum maliyet, sarfiyat ve tasarruf için her türlü araştırma ve geliştirmeyi yapmak zorundadır. Enerji güç sistemleri, sürekli değişen şartlarda çalışan doğrusal olmayan sistemlerdir. Yükler, generatör çıkışları ve sistem parametreleri sürekli değişir. Buna bağlı olarak da; doğrusal olmayan, zamanla değişen ve dinamik bir olgu olan gerilim kararlılığı analizi, güç sistemlerinin işletiminde önemli bir ölçüttür [1]. Bir güç sisteminin, en verimli, kabul edilebilir dengeli bir çalışma şartında bulunması ve bozulmaya maruz kaldıktan sonra da, yeniden kararlı ve dengeli bir duruma gelebilmesi için, sistemin gerilim kararlılığının incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekir. Gerilim kararlılığı, bir güç sisteminin yük talebi ile üretilen ve yük merkezine iletilen güç arasındaki dengenin korunması yeteneğidir [2-3].

Gerilim kararlılık sınırının tahminini ne kadar doğru ve hızlı bir yöntemle sağlanırsa, sistem operatörü de gerekli kontrol eylemlerini o kadar doğru ve hızlı başlatır [4]. Literatürde güç sistemlerinde gerilim kararlılığı analizi için Karar Ağacı Tekniği [6] ve Bulanık Ağlar [7], Yapay Sinir Ağları (YSA) [8] gibi yapay zekâ tekniklerinin kullandığı yöntemler önerilmiştir. 1989'lerden sonra YSA enerji sistemlerinin birçok problemini çözmek için kullanılmaya başlamıştır [9]. İngiliz Enerji İletim Sistemlerinde YSA kullanılarak kararlılık analizlerinin çözümü gerçekleştirilmiş ve YSA'nın pratik uygulamalarda da kullanılabilirliğini kanıtlanmıştır [10]. Bununla birlikte, YSA'ların öğrenme hızı gerekenden çok daha zaman alıcıdır. YSA'ların bu özelliği, uygulamalarında en önemli sınırlamadır. Bu durumun iki ana nedenden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bunlardan biri sinir ağını eğitmek için kullanılan eğitim düşünüm tabanlı öğrenme algoritmasının yavaş olması ve bu öğrenme algoritması ile ağların parametrelerinin tekrarlı ayarlanmasıdır [11]. YSA'ların bu dezavantajlarını gidermek için, G. B. Huang tarafından tek katmanlı YSA'ların eğitimi için Uç Öğrenme Makinesi (UÖM) olarak bilinen yeni bir öğrenme algoritması önerilmiştir [12-13]. Hızlı öğrenme ve genelleme yapabilen UÖM'ler günümüzde güç sistemlerinde arıza yeri tespiti ve arıza sınıflandırma, rüzgâr gücünün tahmini ve yük tahmini gibi birçok alanda kullanılmaktadır [14-17]. YSA'ların eğitiminde kullanılan geleneksel öğrenme algoritmalarına göre UÖM tabanlı öğrenme algoritmasında sadece doğrusal çıkış denklemi çözülerek çıkış ağırlıkları hesap yolu ile bulunur. Ayrıca UÖM, geleneksel sınıflandırıcılara göre ağı eğitimi için kullanılan parametre sayısını indirger [14].

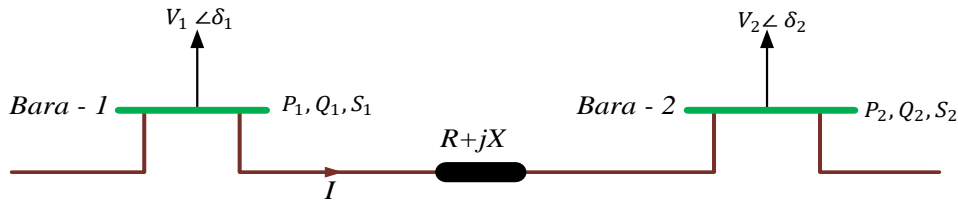
Bu çalışmada, IEEE 14-baralı güç sisteminde gerilim kararlılığı HKİ değerleri kullanılarak UÖM yardımı ile incelenmiştir. Bu amaçla, IEEE 14-baralı güç sistemi modeli MATLAB ortamında oluşturulmuş ve bu modelin yük akım analizi Newton-Raphson metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yük akış analizinde tüm baraların aktif ve reaktif güç değerleri 0.05 birim değer (pu) artırılarak her bir bara için toplam 1000 adet aktif güç, reaktif güç, bara gerilimlerinin genliği ve ilgili gerilimin faz açısı elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler kullanılarak Hat Kararlılık İndeksi (HKİ) hesaplanmıştır. IEEE 14-baralı güç sistemi modeli parametre değerlerinden elde edilen 1000 adet HKİ değeri, UÖM kullanılarak tahmin edilmiştir. UÖM algoritmasının girişleri; ilk gönderici baranın geriliminin genliği ve gerilimin faz açısı; son alıcı baranın reaktif gücü ve gerilimin faz açısı ve çıkışı HKİ değerleridir. UÖM'nin tahmin başarımı, gizli katmandaki hücre sayısı ve farklı tip aktivasyon fonksiyonları için incelenmiş ve elde edilen test sonuçları 5-çapraz doğrulama kullanılarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan UÖM'nin HKİ değerini oldukça yüksek doğrulukta tahmin etmeyi başardığı görülmüştür. Çalışmanın diğer kısımları ise şu şekilde organize edilmiştir. Gerilim kararlılığı ile genel bilgiler 2.kısımda verilmiştir. 3. kısımda UÖM hakkında bilgiler sunulmuştur. 4. kısımda ise gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Ayrıca, önerilen öğrenme makinası diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç kısmında ise önerilen yöntemden elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir.

2. GERİLİM KARARLILIĞI (VOLTAGE STABILITY)

Modern güç sistemleri ileri seviyede planlanmış, çok değişkenli, dinamik sistemlerdir. Genel olarak, sistem parametrelerindeki bozulmalar, sistem elemanlarının farklı karakteristiklerde olmasından kaynaklanmaktadır [1]. Gerilim kararlılığı, aslında güç sisteminin, geniş bir alan içinde, ne kadar küçük veya büyük olduğu önemli olmayan bir bozulmaya maruz kaldıktan sonra, sistem değişkenlerini kabul edilebilir bir dengede sürdürebilme yeteneğidir [2-3]. Gerilim kararsızlığı, sistemde meydana gelen olayların geniş bir kısmını içerirken; gerilim kararlılığı için ise farklı görüşler mevcuttur. Güç üretiminde azalma, talep edilen yükte artma veya generatör, iletim hattı, transformatör vb. cihazların elektriğinin

kesilmesi gibi bozulmalardan dolayı gerilim kontrol edilemediğinden güç sistemlerinde gerilim kararsızlığı meydana gelmektedir. Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'ne (IEEE) göre gerilim kararlılığı bir sistemin gerilimini koruyabilme yeteneğidir [3].

Gerilimin sürekli artmasına ve kontrol edilemeyen düşmesine neden olan yük talebindeki artış veya güç sisteminin durumundaki bir değişimin olması gibi bir bozucu etki olduğu zaman, güç sistemindeki gerilim kararsız duruma girer. Kararsızlığın nedeni, güç sisteminin artan reaktif güç talebini karşılayamamasıdır. Gerilim kararsızlığı normal olarak ağır biçimde yüklenen sistemlerde meydana gelir. Gerçekten gerilim kararsızlığı güç (P, Q) ve gerilim (V) arasındaki ilişkilere bağlıdır. Bu ilişkileri gösteren karakteristikler radyal hat için analitik olarak elde edilebilirken, daha büyük baralı karmaşık sistemler için yük akışı analizi kullanılarak belirlenebilir [18]. Ayrıca sistem yükü kritik yüklenme noktasına yaklaştıkça yani gerilim çökmesinin olduğu yüklenme durumuna yaklaştıkça güç akışı analizinin yapılması zorlaşmakta kullanılan güç akışı algoritmalarında yakınsama problemi görülmektedir. Bu nedenle birden fazla güç akışına ihtiyaç duymaksızın sistemlerdeki kritik baranın belirlenmesi için birçok kararlılık indeksi geliştirilmiştir. Bu indekslerden en yaygın kullanılanlar hat kararlılık indeksi (HKİ), hat kararlılık faktörü (HKF), gerilim çökmesi yakınlık göstergesi (GÇYG), hızlı hat kararlılık indeksi (HHKİ) ve L-indeksidir. HKİ hesaplanırken Şekil 1'de gösterildiği gibi tüm sistem iki baraya indirgenir. Baralardan biri salınım barası, diğeri yük barası olarak seçilir [19]. Şekil 1'de; Bara-1 salınım barası, Bara-2 ise yük barası olarak seçilmiştir. Ayrıca bu şekilde V_1 ; salınım barasının gerilimi, V_2 ; yük barasının gerilimi, P_1 ; salınım barasının aktif gücü, Q_1 ; salınım barasının reaktif gücü, P_2 ; yük barasının aktif gücü, Q_2 ; yük barasının reaktif gücü, S_1 ; salınım barasının görünür gücü, S_2 ; yük barasının görünür gücü, I ; hat akımı, θ ; iletim hattı empedansı, δ ; baralar arasındaki gerilim açısı farkı ($\delta_1 - \delta_2$).



Şekil 1. İki baralı güç sistemi modeli

M. Moghavemmi vd. [20], bir güç sistemi iletim hattının gerilim kararsızlığına olan yakınlığını gösteren bir kararlılık kriteri oluşturmuşlardır. Güç sisteminde bir gerilim çökmesi meydana gelirse HKİ indeksi maksimum değeri 1, sistemde yük olmadığında minimum değeri 0 olabilir. Bu indeks, güç aktarım kavramına dayanır ve burada gerilim ikinci dereceden denkleminin ayırt edici özelliği, kararlılık elde etmek için sıfırdan büyük veya sıfır olarak ayarlanmalıdır. HKİ tek bir hattaki bir güç iletimine göre denk. 1'e göre hesaplanabilir:

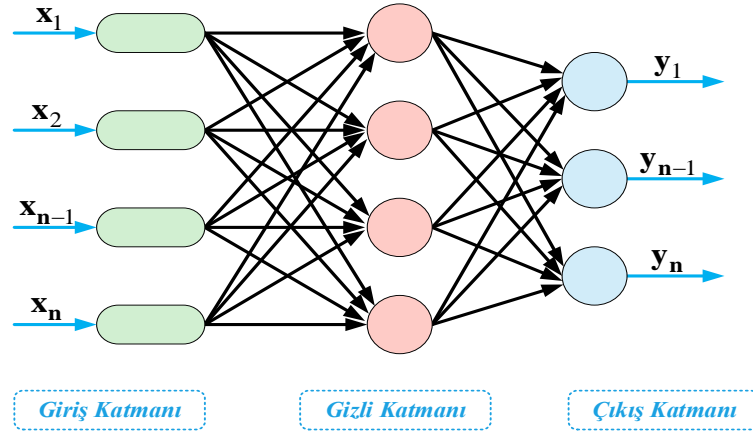
$$HKİ = \frac{4XQ_j}{(V_i - \sin(\theta - \delta))^2} \quad 1$$

Burada X ; hattın reaktansını, Q_j ; son alıcı reaktif gücünü, V_i ; ilk gönderici gerilimi, θ ; faz açısını, δ ise besleme gerilimi ve alıcı gerilimi arasındaki açı farkını göstermektedir. Gerilimi kararlı olan sistemi korumak için HKİ değeri 1'den küçük olmalıdır [21-22].

3. UÇ ÖĞRENME MAKİNESİ (EXTREME LEARNING MACHINE)

UÖM, tek katmanlı ileri beslemeli YSA'lar için geliştirilmiş bir öğrenme algoritmasıdır [10, 23-24]. UÖM'de, eğitim düşüm tabanlı öğrenme algoritmalarından farklı olarak giriş ağırlıkları ve biasları rastgele atanır ve çıkış ağırlıkları matematiksel olarak elde edilir [24]. İleri beslemeli normal bir YSA'da sinir ağının eğitilmesi tekrarlamayı gerektirirken, bu tekrarlı durum UÖM'de matematiksel bir denkleme dönüştürülmüştür. Bu nedenle, UÖM hızlı öğrenme kabiliyetinin yanında geleneksel geri yayılım algoritması ile eğitilen ileri beslemeli bir sinir ağına kıyasla genelleme yeteneği daha iyidir [23-25]. Ayrıca, UÖM'nin çıkış ağırlıkları genelleştirilmiş ters Moore-Penrose matrisi ile hesaplandığından, yerel minimuma takılma veya optimum öğrenme parametre belirlenmesi gibi performansı doğrudan etkileyen problemleri yoktur [22-25]. Fakat UÖM sinir ağı verilerin dağılımına göre transfer fonksiyonu, eğitim düşüm tabanlı

öğrenme algoritmalarında olduğu gibi belirlenmesi için birçok deneme gerektirmektedir. UÖM’de eğitim düşünüm tabanlı öğrenme algoritmalarından farklı olarak sürekli olmayan aktivasyon fonksiyonlarını da kullanabilmektedir [23]. Şekil 2’de UÖM ile eğitilen tek gizli katmanlı ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2. Tek gizli katmanlı sinir ağı yapısı

Burada, x_N ve y_N sırası ile giriş ve çıkışları göstermektedir. Girişler $x_N = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T \in R^N$ matrisi, çıkışlar ise $y_N = [y_1, y_2, \dots, y_N]^T \in R^N$ matrisleri ile ifade edilir. Ara katmanda M tane sinir hücresi içeren standart bir ağıın çıkışı matematiksel olarak denk. 2’deki gibi yazılabilir [10].

$$\sum_{i=1}^M \beta_i g(w_i \cdot x_j + b_i) = t_j, j=1, \dots, N \quad 2$$

Burada $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iN}]^T$; i . gizli sinir hücresine ve giriş sinir hücresine bağlı olan giriş ağırlık vektörünü, $\beta_i = [\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{iM}]^T$; i . gizli sinir hücresine ve çıkış sinir hücrelerine bağlı olan çıkış ağırlık vektörünü, $g(\cdot)$; gizli katmanda kullanılan aktivasyon fonksiyonunu. b_j ise i . gizli sinir hücresinin bias değerini gösterir. $w_i \cdot x_j$ ise w_i ve x_j ’nin noktasal çarpımını belirtir. $t_j = [t_1, t_2, \dots, t_j]^T$ ise UÖM ağıının beklenen ya da olması istenen çıkışı olmak üzere, N tane gizli sinir hücresine ve $g(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonuna sahip standart tek gizli katmanlı ileri beslemeli ağ yapısında hedef değer t_j ile ağıın çıkış değeri y_j birbirine eşit olursa hata sıfır olur. Yani, $\sum_{j=1}^N \|t_j - y_j\| = 0$ ’ı sağlayacak çıkış ağırlıkları vardır. Bu durumda t_j hedef değer y_j ağıın gerçek çıkışına eşitlenirse [22]:

$$\sum_{i=1}^M \beta_i g(w_i \cdot x_j + b_i) = y_j, j=1, \dots, N \quad 3$$

elde edilir [10]. Eğer denk. 3’te $H = g(w_i \cdot x_j + b_i)$ olarak ifade edilirse denk.(4) yazılabilir.

$$y = H \cdot \beta \quad 4$$

Denklem 4’teki H matrisi denklem 5’de verilmiştir [10].

$$H = \begin{bmatrix} g(w_1 \cdot x_1 + b_1) & \dots & g(w_N \cdot x_1 + b_N) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ g(w_1 \cdot x_M + b_1) & \dots & g(w_N \cdot x_M + b_N) \end{bmatrix}_{N \times M} \quad 5$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix}_{M \times 1}; y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}_{N \times 1} \quad 6$$

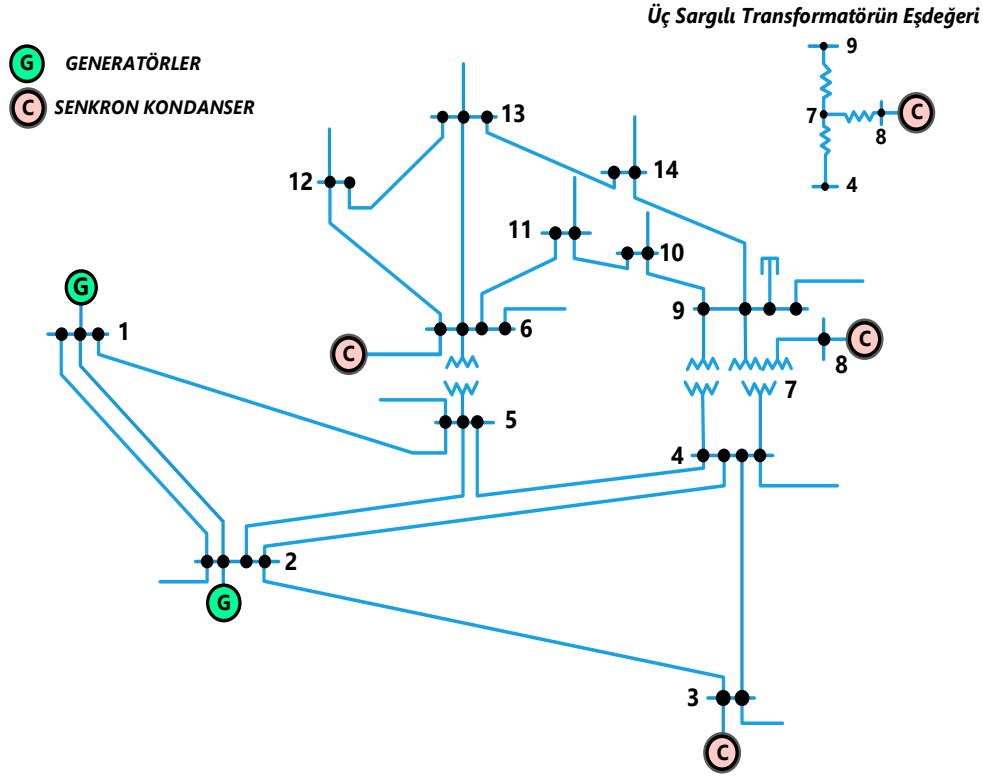
Bu durumda, w_i giriş katmanı ağırlıkları ve b_i gizli katman bias değerleri rastgele seçilerek H analitik olarak hesaplanır. Geleneksel tek gizli katmanlı ileri beslemeli ağlarda ağıın eğitilmesi gerekirken UÖM’de denklem 4’te belirtilen doğrusal bir denklemin tek seferde çözülmesiyle eğitim tamamlanır. Çıkış ağırlıkları olan β değerleri denklem 7’de çözümlenerek elde edilir;

$$\beta = H^+ \cdot y \quad 7$$

Yukarıdaki denklemde; H^+ , H çıkış matrisinin genelleştirilmiş tersi “Moore-Penrose matrisi olarak tanımlanmıştır [10].

4. YAPILAN ÇALIŞMA (REALIZED STUDY)

Bu çalışmada IEEE 14-baralı güç sisteminde gerilim kararlılığı farklı yük şartları altında HKİ değerleri yardımı ile UÖM algoritmaları kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla Şekil 3'te verilen IEEE 14-baralı güç sistemi modeli Matlab'ta oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin yük akış analizi Newton-Raphson yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yük akış analizi yapılırken tüm baraların aktif ve reaktif güç değerleri 0.05 birim değer (pu) artırılarak her bir bara için 1000 adet aktif güç, reaktif güç, gerilim genliği ve gerilimin faz açısı elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak hesaplanan HKİ değerleri ile IEEE 14-baralı güç sisteminin en kritik hattı belirlenmiştir. Tablo 1'de baralar arası iletim hatlarına ait farklı güç artırımlarından elde edilen HKİ değerleri verilmiştir.



Şekil 3. IEEE 14-baralı güç sistemi

Tablo 1'den, 12-13 nolu baralara ait iletim hattın güç artırımı yapıldıkça HKİ değeri diğer iletim hatlarından daha büyük ve 1'e en yakın olduğu için bu hat en kritik hat olarak belirlenmiştir. 12-13 nolu baralar ve bu baralara bağlı iletim hattı verileri UÖM algoritmasında giriş ve çıkış verileri olarak kullanılmıştır. UÖM algoritması için giriş parametreleri; ilk gönderici baranın gerilim genliği ve gerilim faz açısı; son alıcı baranın reaktif gücü ve gerilimin faz açısı ve çıkış parametresi olarak HKİ değerleri alındı. UÖM'nin tahmin edeceği hedef HKİ değerleridir. UÖM'nin başarımını etkileyen en önemli faktörler gizli katman hücre sayısı (GKHS) ve gizli katmanda kullanılan aktivasyon fonksiyon tipidir. Bu nedenle, UÖM algoritması farklı GKHS değerleri (20, 60 ve 100) ve gizli katmanda farklı tip aktivasyon fonksiyonları (radyal tabanlı, logaritmik sigmoid ve tanjant sigmoid) için test edilerek bu parametrelerin en uygun değeri ve tipi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu parametreler kullanılarak UÖM'den elde edilen eğitim - test süreleri ve test doğruluğu (TD) ve karesel ortalama hata (RMSE) parametreleri farklı tip aktivasyon fonksiyonu ve GKHS sayıları için verilmiştir. Tablo 2'de verilen sonuçlar incelendiğinde, tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanan UÖM'den elde edilen RMSE değerlerinin radyal tabanlı ve logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanan UÖM'ye göre daha düşük olduğu görülmektedir. RMSE, iki veri kümesi arasında ne kadar hata olduğunu ölçer. Başka bir deyişle, öngörülen bir değer ile gözlenen veya bilinen bir değeri karşılaştırır. Bir RMSE değeri ne kadar küçükse, öngörülen ve gözlenen değerler birbirine o kadar yakındır ve ağırlık tahmin başarımı o kadar yüksektir. Ayrıca GKHS artıkça UÖM'nin başarımının iyileştiği, bunun yanında eğitim-test sürelerinin arttığı görülmektedir.

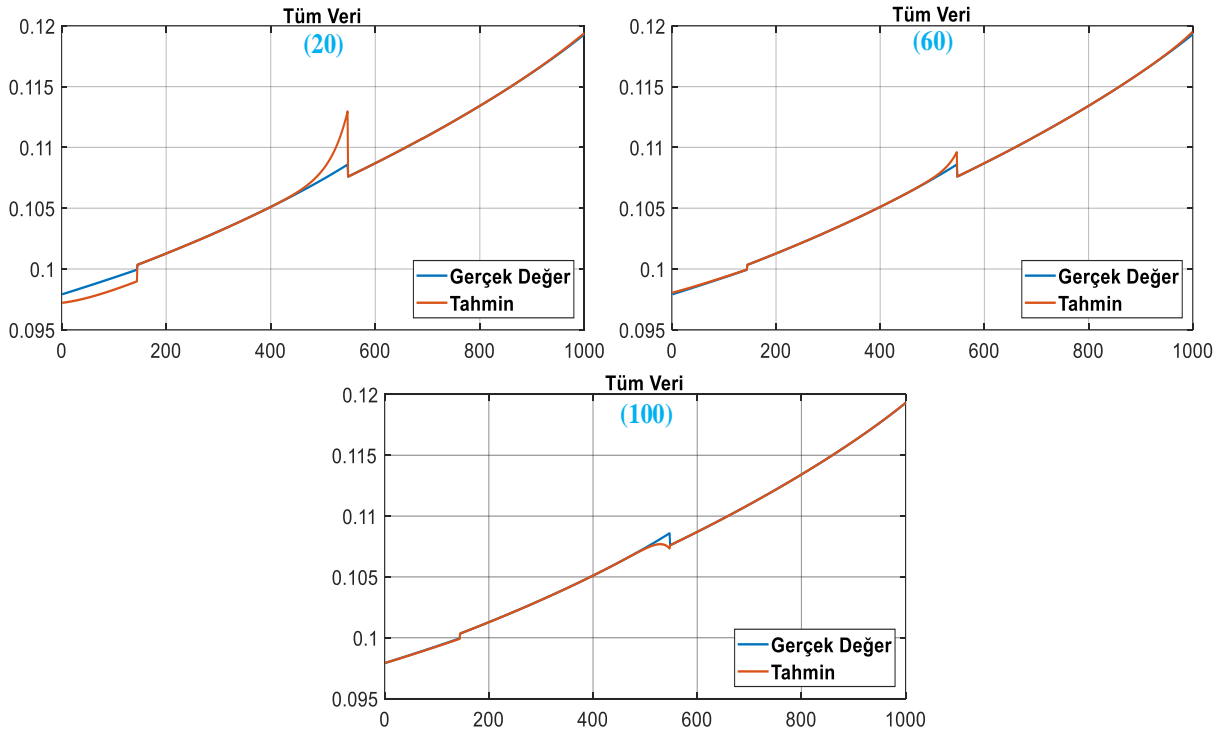
Tablo 1. İletim hatlarına ait farklı güç artırımından elde edilen HKİ değerleri

<i>Baralar</i>	1	2	3	4	5	6	7
<i>1-2</i>	0.0874	0.0884	0.2004	0.7605	0.8621	1.0154	1.2988
<i>1-5</i>	0.0149	0.0156	0.0253	0.0350	0.0447	0.0544	0.0641
<i>2-3</i>	0.0737	0.0738	0.1967	0.3196	0.4425	0.5654	0.1006
<i>2-4</i>	0.0299	0.0326	0.1536	0.2746	0.3956	0.5166	0.6376
<i>2-5</i>	0.0117	0.0122	0.1342	0.2562	0.3782	0.5002	0.6222
<i>3-4</i>	0.0291	0.0323	0.1518	0.2713	0.3908	0.5103	0.6298
<i>4-5</i>	0.0284	0.0316	0.1498	0.2680	0.3862	0.5044	0.6226
<i>4-7</i>	0.0010	0.0011	0.1634	0.7074	0.8205	1.001	1.3102
<i>4-9</i>	0.0348	0.0393	0.1245	0.6453	0.7604	1.0207	1.1233
<i>5-6</i>	0.0337	0.0344	0.1561	0.7653	0.8603	1.0074	1.2049
<i>6-11</i>	0.0154	0.0162	0.1387	0.2612	0.3837	0.5062	0.6287
<i>6-12</i>	0.0179	0.0217	0.1421	0.2625	0.3829	0.5033	0.6237
<i>6-12</i>	0.0335	0.0340	0.1547	0.2754	0.3961	0.5168	0.6375
<i>7-8</i>	0.0248	0.0293	0.1114	0.6757	0.5677	1.0177	1.1133
<i>7-9</i>	0.0437	0.0544	0.1676	0.7653	0.4604	1.0074	1.0144
<i>9-10</i>	0.0215	0.0216	0.1418	0.2620	0.3822	0.5024	0.6226
<i>9-14</i>	0.0634	0.0647	0.1941	0.3235	0.4529	0.5823	0.9917
<i>10-11</i>	0.0333	0.0601	0.1894	0.3187	0.4480	0.5773	0.9961
<i>12-13</i>	0.0929	0.0943	0.2175	0.7814	0.8846	1.1051	1.4159
<i>13-14</i>	0.0804	0.0807	0.2036	0.7653	0.8686	1.0275	1.3049

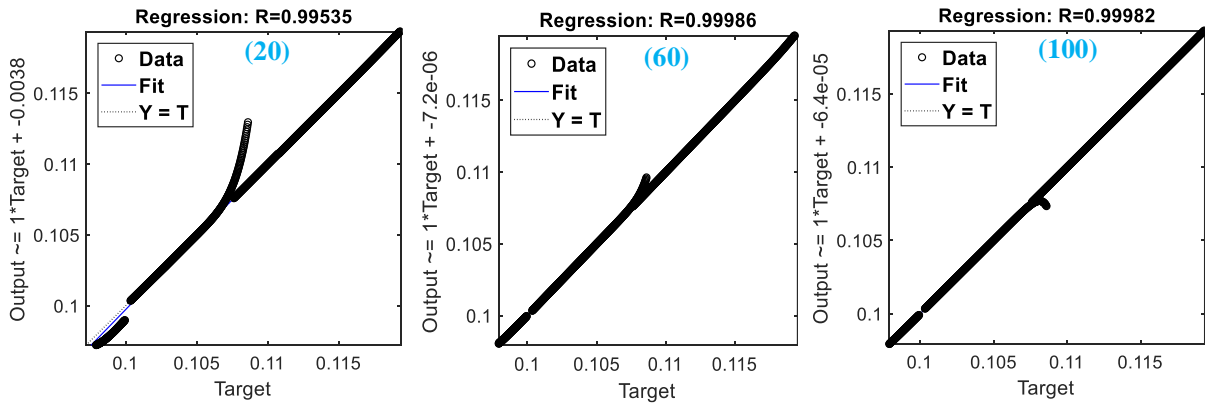
Tablo 2. Farklı aktivasyon fonksiyonu ve GKHS değerine göre elde edilen sonuçlar

<i>Aktivasyon Fonksiyonu</i>	GKHS	Süre (sn)			
		Test	Eğitim	TD (%)	RMSE
<i>Radyal tabanlı</i>	20	0.0312	0.0468	48.89	0.44044
	60	0.0781	0.1092	53.75	0.32179
	100	0.1392	0.1404	57.77	0.28748
<i>Logaritmik sigmoid</i>	20	0.0132	0.4836	78.46	0.37746
	60	0.0468	0.0468	83.47	0.22147
	100	0.1092	0.1248	88.04	0.19986
<i>Tanjant sigmoid</i>	20	0.0156	0.1872	80.03	0.29127
	60	0.0568	0.1248	84.09	0.21147
	100	0.1248	0.3276	98.98	0.17371

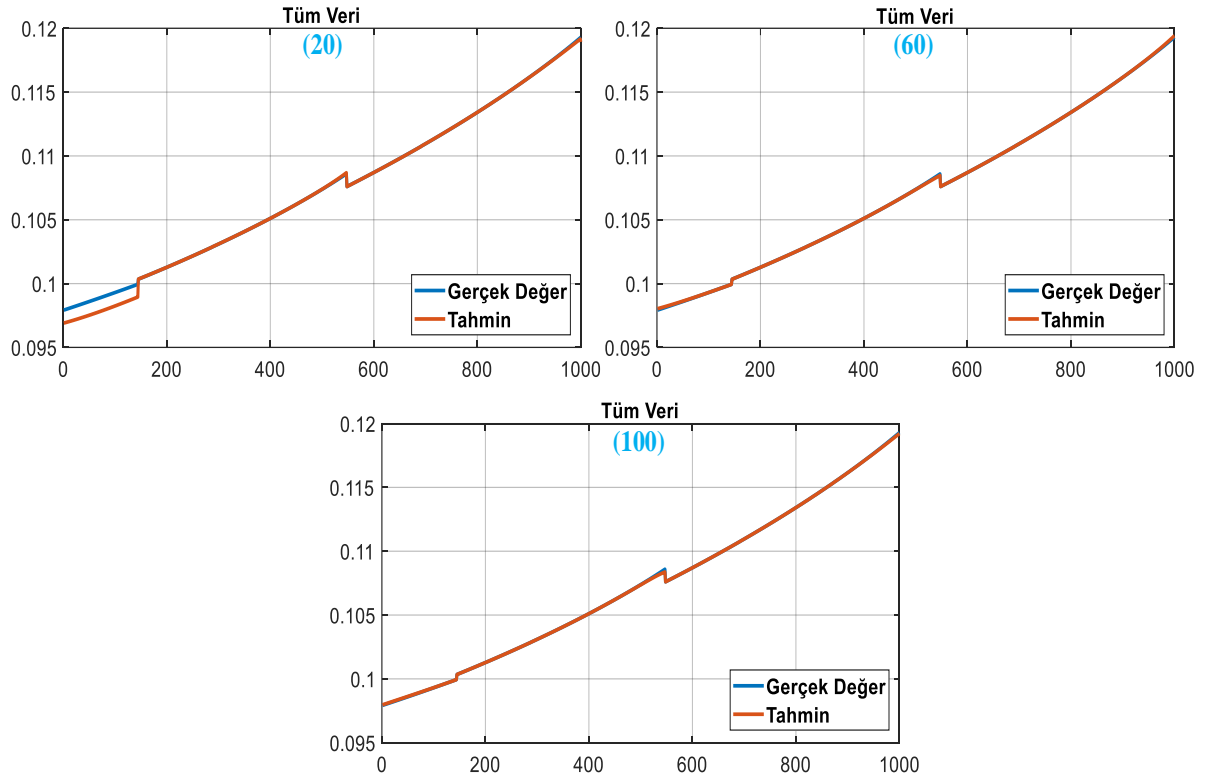
Şekil 4-6-8'de sırasıyla verilen radyal tabanlı, logaritmik sigmoid ve tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonları ile farklı GKHS değerleri (20, 60, 100) için UÖM algoritmaları ile tahmin edilen HKİ'lerin, GKHS değeri artırıldıkça gerçek değer HKİ eğrileriyle daha iyi bir eğim oluşturduğu görülmektedir. Şekil 8'de verilen tanjant sigmoid aktivasyonlu UÖM algoritmaya ait tahmin eğrisi, Şekil 4'te ve Şekil 6'da verilen radyal tabanlı ve logaritmik sigmoid UÖM algoritmalarının oluşturduğu tahmin eğrilerinden gerçek değer eğrisine olan paralellığı daha fazladır. Şekil 5-7-9'da sırasıyla verilen radyal tabanlı, logaritmik sigmoid ve tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonlarını kullanan UÖM algoritmalarının farklı GKHS değerleri (20, 60, 100) için regresyon eğrilerinde görüldüğü gibi GKHS değeri artıkça UÖM algoritmaları tarafından tahmin edilen HKİ değerlerinin gerçek HKİ değerleri ile regresyon doğrusu üzerinde daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir. Şekil 9'da verilen regresyon eğrisinin Şekil 5 ve 7'deki regresyon eğrilerine göre regresyon değerinin 1'e olan yakınlığı daha fazla olduğundan tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonlu UÖM algoritmasının diğer algoritmalara göre tahmin başarımının daha iyi olduğu söylenebilir.



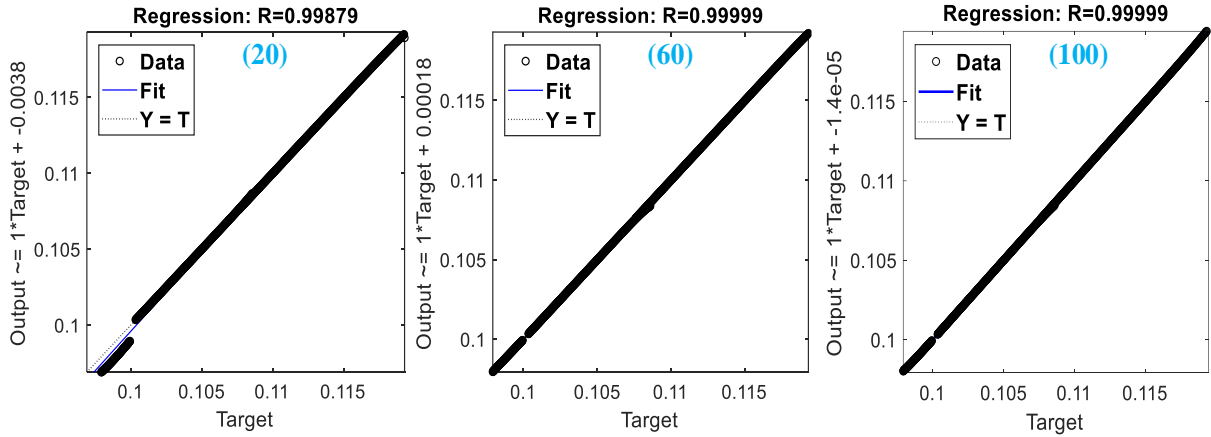
Şekil 4. Radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonu ile farklı GKHS değerleri için UÖM tarafından tahmin edilen HKİ'ler



Şekil 5. Radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonu kullanan UÖM'nin farklı GKHS için regresyon eğrileri

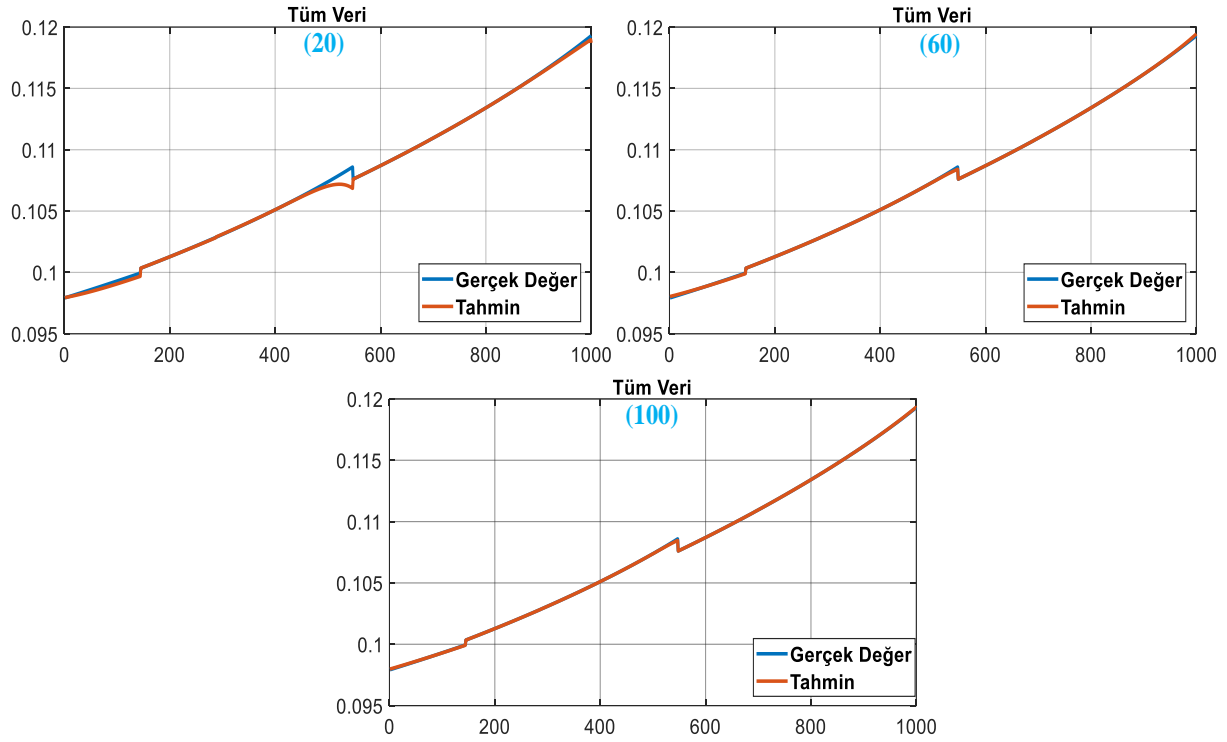


Şekil 6. Logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile farklı GKHS değerleri için UÖM tarafından tahmin edilen HKİ'ler

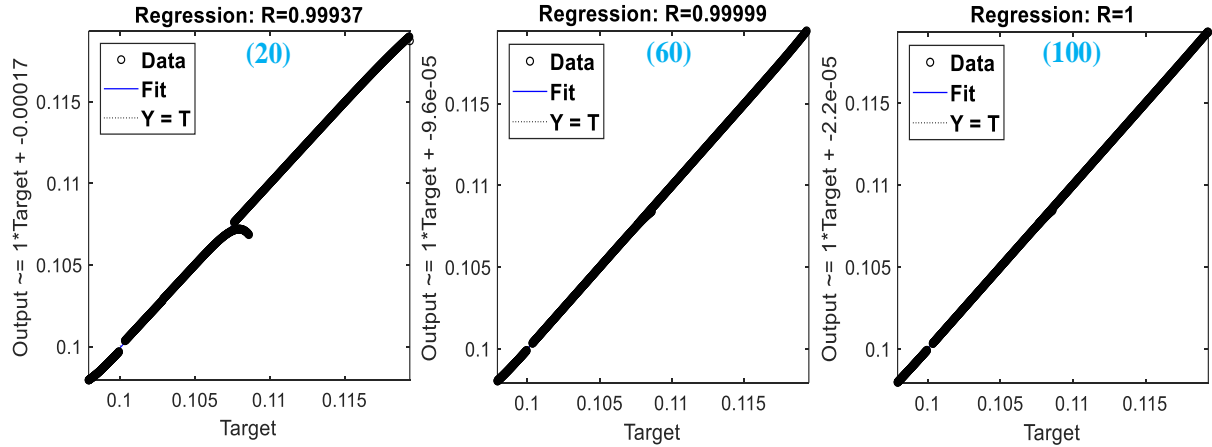


Şekil 7. Logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanan UÖM'nin farklı GKHS için regresyon eğrileri

Tablo 3'te UÖM algoritmalarından en iyi tahmin başarımını gösteren tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonlu GKHS'si 100 olan algoritma ile Matlab uygulamalarından Regression Learning araç kutusu kullanılarak farklı regresyon yöntemlerinden elde edilen test-egitim süreleriyle hata değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Tablo 3'te yer alan *LR*; lineer regresyon, *SVMR*; destek vektör makine regresyonu, *GR*; gauss regresyon, R^2 ; korelasyon katsayısı, *MSE*; ortalama karesel hata, *RMSE*; ortalama karekök hata, *MAE*; ortalama mutlak hatayı ifade etmektedir. Tablo 3'te verilen tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonlu UÖM algoritmasının diğer regresyon yöntemlerine göre hem test-egitim süresinin çok kısa olması hem de hata değerlerinin diğer yöntemlerden az olmasından dolayı UÖM algoritmasının HKİ değerlerini tahmin etmede tercih edilebileceği değerlendirilebilir.



Şekil 8. Tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile farklı GKHS değerleri için UÖM tarafından tahmin edilen HKİ'ler



Şekil 9. Tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanan UÖM'nin farklı GKHS için regresyon eğrileri

Tablo 3. UÖM algoritması ile farklı regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması

	UÖM	LR	SVMR	GR
Eğitim-Test Süresi (sn)	0.4524	13.9	136.32	91.43
R^2	1	1	0.99	1
MSE	0.0301	3.4849	11.4724	0.0014
RMSE	0.1737	1.8668	3.3871	0.0121
MAE	0.1407	1.5152	3.0401	0.0092

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, IEEE 14-baralı güç sistemlerinde gerilim kararlılığının bir ölçütü olan HKİ değeri UÖM yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle IEEE 14-baralı güç sisteminin Newton Raphson metoduyla yük akış modeli MATLAB ortamında oluşturulmuştur. Yük akış analizinde tüm baraların aktif ve reaktif güçleri 0.05 birim değer (pu) artırılmış ve her bir baraya ait toplam 1000 adet aktif güç, reaktif güç, gerilim genliği ve gerilimin faz açısı değerleri hesaplanmıştır. IEEE 14-baralı güç sistemi modeli parametre değerlerinden elde edilen 1000 adet HKİ değeri, yine Matlab ortamında oluşturulan UÖM kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. UÖM'nin test başarımı 5-kat çapraz doğrulama kullanılarak verilmiştir. Ayrıca UÖM'nin başarımı, GKHS 20, 60 ve 100 olacak şekilde ve radyal tabanlı, logaritmik sigmoid ile tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonları kullanılarak sunulmuştur. Bu regresyon ile tahmin eğrilerinden ve farklı regresyon yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre GKHS 100, aktivasyon fonksiyonu tanjant sigmoid olan UÖM algoritmasının HKİ değerini daha iyi tahmin ettiği görülmüştür. Bu sonuçlar UÖM'nin güç sistemlerinde gerilim kararlılığının analizinde bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] W.D. Stevenson, Elements of power system analysis (Fourth edition). New York: McGraw-Hill (1982).
- [2] P. Kundur, Power System Stability and Control. EPRI Power System Engineering Series, McGraw Hill, (1994).
- [3] P. Kundur, et al. Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions. IEEE Trans. Power Syst. 19(3): (2004) 1387-1401.
- [4] M. Yeşilbudak, R. Bayındır, Ü. Çetinkaya, Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığını Etkileyen Faktörler. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 3(4): (2016) 595-602.
- [5] V. Balamourougan, T.S. Sidhu and M.S. Sachdev, Technique for online prediction of voltage collapse. IEEE Proc. Gener. Transm. Distrib., 151: (2004) 454-460.
- [6] B.C. Bernardes, W.D. Oliveira, J.P.A. Vieira, I. Ohana, U.H. Bezerra, Decision Tree-Based Power System Static Security Assessment Using PMU Measurements. In: IEEE PES Trondheim Power Tech, Trondheim, (2011).
- [7] M. Ramaswamy, K.R. Nayar, On-line estimation of bus voltages based on fuzzy logic. Int. J. Electr. Power Energy Syst., 26(9): (2004) 681-684.
- [8] O.P. Rahi, A.K. Yadav, H. Malik, A. Azeem, B. Kr, Power system voltage stability assessment through artificial neural network. Procedia Eng., 30: (2012) 53-60.
- [9] V.S. Vankayala, N.D. Rao, Artificial neural networks and their applications to power systems-a bibliographical survey. Electr. Power Syst. Res., 27: (1993) 67-79.
- [10] M.J. Short, K.C. Hui, J.F. Macqueen, A.O.R. Ekwue, Application of artificial neural networks for NGC voltage collapse monitoring. Inter. Conf. On Large High Voltage Electric Systems, Cigre, Paris, (1994).
- [11] G.B. Huang, Q.Y. Zhu, C.K. Siew, Extreme learning machine: theory and applications. Neurocomputing, 70(1): (2006) 489-501.
- [12] G.B. Huang, Q.Y. Zhu, C.K. Siew, Extreme Learning Machine: A New Learning Scheme of Feedforward Neural Networks. IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Budapest, Hungary, pp. 985-990, (2004).

- [13] Ucar F., et al. Power quality event detection using a fast extreme learning machine. *Energies* 11(145) (2018) 1-14.
- [14] Ö.F. Ertuğrul, M.E. Tağluk, Y. Kaya, Fault Detection at Power Transmission Lines by Extreme Learning Machine, 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Haspolat, Turkey, (2013).
- [15] C. Wan, Z. Xu, P. Pinson, Z.Y. Dong, K.P. Wong, Optimal Prediction Intervals of Wind Power Generation, *IEEE Trans. Power Syst.*, 29: (2014) 1166-1174.
- [16] R. Zhang, Z.Y. Dong, Y. Xu, K. Meng, K.P. Wong, Short term load forecasting of Australian National Electricity Market by an ensemble model of extreme learning machine. *IET Gener. Transm. Distrib.*, 7(4): (2013) 391-397.
- [17] A. Öztürk, B. Bozali, S. Tosun, Güç Sistemi Kararlılığını İyileştirecek Facts Cihazlarının Bağlantı Noktasının Belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 4(2): (2016) 812-825.
- [18] C. Subramani, S.S. Dash, M.A. Bhaskar, M. Jagdeshkumar, Simulation technique for voltage stability Analysis and contingency ranking in power systems. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 2(5): (2009) 263-267.
- [19] I. Musirin, T.A. Rahman, Estimating maximum loadability for weak bus identification using FVSI. *IEEE Power Eng. Rev.*, 22(11): (2002) 50-52.
- [20] M. Moghavvemi, F.M. Omar, Technique for contingency monitoring and voltage collapse prediction. *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 145(6): (1998) 634-640.
- [21] I. Musirin, T.K. Abdul Rahman, On-Line Voltage Stability Index for Voltage Collapse Prediction in Power System. *Brunei International Conference on Engineering and Technology 2002 (BICETZOOI)*, Brunei, pp. 1118-1121, (2002).
- [22] G.B. Huang, D.H. Wang, Y. Lan Extreme learning machines: a survey. *Int. J. Mach. Learn. Cybern.*, 2(2): (2011) 107-122.
- [23] F. Uçar, B. Dandıl, F. Ata Classification of power quality events using extreme learning machine, 23th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), (2015).
- [24] A. Ben-Israel, T.N.E. Greville, *Generalized Inverses: Theory and Applications*, Springer-Verlag, (2003).
- [25] A. Ethem, *Yapay Öğrenme (2.baskı)*, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 278-281, (2011).



Support System of Acceptance-Rejection Decision for Incoming Quality Control Process

Duygu YILMAZ EROĞLU*

Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Görükle Campus 16059, Nilüfer/BURSA

Graphical/Tabular Abstract

In this paper, three different methodologies are proposed for classification problem in the real production environment. Hybrid genetic algorithm is adapted to the current problem and the results compared with hybrid radial basis function. After validating hybrid genetic algorithm, the best chromosome's genes' values are used as coefficients to predict the classes for the first time in this study.

Article Info:

Received: 05/04/2019

Revision: 10/07/2019

Accepted: 15/07/2019

Highlights

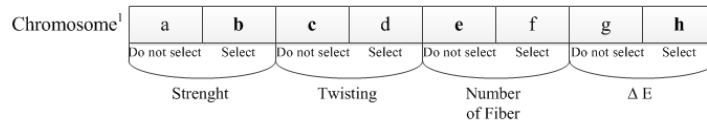
- Genetic Algorithms
- Neural Networks
- Classification

Keywords

Hybrid genetic algorithm
Hybrid RBF
Classification

```

If
b * Value of Strength + h * Value of ΔE ≤ Threshold
Then 'Accept'
Else 'Reject' the sample
  
```



¹: This is the best chromosome schema after running the hybrid genetic algorithm with considered (example) dataset. If another dataset would be used, the coefficients will be changed. If the 'Select' value of the gene is smaller than 'Do not select' value, then select the feature. The characters that indicated in bold, shows the smaller value for gene couples.

Figure A. Chromosome schema

Purpose: The aim of this paper is to build a predictive decision support model which will support the decision making of yarn acceptance at the incoming quality control stage of the actual production environment.

Theory and Methods: Hybrid genetic algorithm, in which the k-NN classifier with variable k policy and local search is embedded, is applied as the first solution method. Radial basis function (RBF) that is hybridized with recursive least squares estimation (RLS) method is utilized as a second solution method. Finally, since both important attributes and their coefficients can be taken directly from the best chromosome of the hybrid genetic algorithm, the third technique is proposed as using these coefficients by multiplying with attribute values and then comparing with the threshold value to accept/reject the sample.

Results: Average accuracy rates of hybrid genetic algorithm and hybrid RBF are 90.14% and 90.25% respectively. These two methods then compared with Naive Bayes and IBk and applied methods, outperformed both of them. The accuracy rate of the proposed third method is calculated as 88.95%. The result is compared with multiple linear regression, and it is observed that the proposed method outperformed with a significant margin.

Conclusion: In this study, the predictive decision system models are suggested to accept or reject decision for yarn acceptance process in a textile factory in Bursa/Turkey. More than 1200 samples are used to run hybrid genetic algorithm, hybrid RBF, and regression-based method, which utilize the best chromosome's genes' random numbers of hybrid genetic algorithm. Although this technique's performance is less than the hybrid genetic algorithm and hybrid RBF, it is clear that it is a convenient methodology that can be preferred in terms of ease of use.



Giriş Kalite Kontrol Sürecinde Kabul-Ret Kararı Destek Sistemi

*Duygu YILMAZ EROĞLU

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüsü, 16059 Nilüfer/BURSA

Öz

Bu çalışmada, iplik kalite kabul sürecindeki dört adet girdi faktörünün yanında, çalışanların karar alma konusunda uzman görüşlerinin de dikkate alındığı bir yapı için öngörü destek sistemleri tasarlanmıştır. İlk yöntem, daha önce sınıflandırma çalışması için tasarlanıp doğrulanan melez genetik algoritma olup mevcut çalışmaya adapte edilmiştir. Diğer metod ise, sinirsel ağlar temelli melez radyal tabanlı fonksiyondur ve probleme uygun hale getirilerek kodlanmıştır. Gerçek üretim verilerinin kabul-ret kararı için sınıflandırılması sürecinde, geliştirilen iki teknik ile %90'ın üzerinde doğruluk oranı elde edilmiş, literatürde iyi bilinen diğer bazı yöntemler de performans karşılaştırmasında kullanılmıştır. Melez genetik algoritmanın performansı doğrulandıktan sonra, elde edilen en iyi kromozom, sınıflandırma tahmin modeli olarak kullanılmıştır. Önerilen metodolojiye göre, seçilen öznelik değerleri, belirlenen katsayılar ile çarpılmış ve bir eşik değeri ile karşılaştırılarak makul bir doğruluk oranı ile kabul-ret kararı verilebilmiştir. Makalenin literatüre katkısı ise iki şekilde değerlendirilebilir. İlki, önerilen melez genetik algoritmanın sınıflandırma performansının melez sinirsel ağlar yöntemi ile karşılaştırılması, ikincisi, önerilen melez genetik algoritma sonucunda elde edilen en iyi kromozomun iplik kalite kabul süreci için destek sistem olarak kullanabilmesidir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 05/04/2019

Düzeltilme: 10/07/2019

Kabul: 15/07/2019

Anahtar Kelimeler

Melez genetik algoritma
Melez radyal tabanlı
fonksiyon
Sınıflandırma

Support System of Acceptance-Rejection Decision for Incoming Quality Control Process

Keywords

Hybrid genetic
algorithm
Hybrid RBF
Classification

Abstract

In this study, predictive support systems have been designed for a structure in which takes into account the expert opinions of employees for decision making in addition to four input factors in a yarn quality acceptance process. The first technique is a hybrid genetic algorithm which was previously designed and validated for the classification study and adapted to the current problem. The other method is a hybrid radial based function (RBF) based on neural networks which is adapted to the problem and coded. During the process of classifying the actual production data for the accept-reject decision, accuracy rate of more than 90% has been achieved with two techniques developed and also some other methods which are well-known in literature were used for performance comparison. After the verification of the hybrid genetic algorithm performance, the best chromosome that was obtained, used as the model for classification estimation. According to the proposed methodology, the selected attribute values were multiplied by the determined coefficients and compared with a threshold value, and an acceptance-rejection decision could be made with a reasonable accuracy rate. The contribution of the article to the literature can be evaluated in two ways. The first one is comparing the classification performance of the proposed hybrid genetic algorithm with the hybrid neural networks method, and the second one is utilizing the best chromosome of the proposed genetic algorithm as a support system for yarn quality acceptance process.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayide dijitalleşme, literatürde OODA (observe–orient–decide–act) döngüsü olarak bilinen, temellerini insan beyninin karar verme mekanizmasından alan, Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri'nde hava muharebesi için Albay John Boyd tarafından geliştirilen [1] adımları içermektedir. Zamana dayalı rekabet, gerçek zamanlı işletme, sıfır gecikme süresi, çevik işletme, uyarlanabilir işletme gibi birçok yönetim stratejisinin temelinde, firmaların değişime olan cevapları esastır. Günümüzde, iş liderleri üç yeni soruyu sormakta; şu anda neler oluyor? Olası muhtemel olaylar nelerdir? Hangi olaylar geleceği

etkileyebilir? [2] Bu soruları üretim ortamında cevaplandırabilmek için, gözlem (observe) aşamasından verilerin anlık toplanması, adaptasyon (orient) aşamalarında analizlerin yapılması, geliştirilen algoritmaların kullanılarak karar verilmesi ve uygula (act) aşamasında geliştirilen karar destek sisteminin adapte edilmesi gerekir. Bu döngünün canlı tutulabilmesindeki en önemli koşul ise geri besleme (feedback) olup tüm aşamalarda dönütlerin gözlem aşamasına girdi olarak kullanılabilmesini gerektirir. Veri madenciliği yöntemleri de bu döngünün adaptasyon ve karar aşamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu perspektif ile bakıldığında –çalışmamızda da odaklanılacak olan- kararı en fazla etkileyen özniteliklerin seçilmesi, ağırlıklandırılması, seçilen ve ağırlıklandırılan öznitelikler kullanılarak yeni verinin sınıfının tahmin edilmesi için geliştirilen algoritmalar, insan beynini taklit etmeye çalışan bir karar destek sisteminin parçalarıdır.

Bu makalede, bir dokuma firmasının iplik kalite kabulü için gereken girdi parametrelerinin (faktör ya da öznitelik olarak da belirtilebilir) hızlı ve doğru şekilde değerlendirilerek kabul ya da ret kararının verilmesini destekleyen bir karar destek sistemi üzerinde çalışılmıştır. Gerçek sistemde, her bir kabul faktörü için alt ve üst limitler belirlenmiştir. Fakat limitler içerisinde olsa dahi tüm ipliklerin uzman çalışanın onayını alması gerekmektedir. Sonuç olarak, sadece uzman çalışan onayını da alan iplikler üretim aşamasına gönderilmektedir. Önerilen algoritmalar, kabul kararında insan faktörünün de yer aldığı uzman sistem modelleridir. Bu anlamda yapılan çalışma, kabul kararında faktör etkisinin araştırılması niteliğindedir. Çalışmada, daha önce sınıflandırma ve öznitelik seçimi problemleri için kullanılan melez genetik algoritma, sinirsel ağlar yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Önerilen melez genetik algoritmanın sınıflandırma başarısı %90.14 olup, RLS (recursive least squares estimation-özyinelemeli en küçük kareler) ile melezleştirilmiş RBF (radial basis function-radyal tabanlı fonksiyon) problem için kodlanmış ve %90.25 sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Hedef ise, regresyon yönteminde olduğu gibi katsayıların parametre değerleri ile çarpılarak sonuç değer tahmininde kullanılması olduğundan, melez genetik algoritmanın son aşamasındaki en iyi kromozomun ağırlıkları kullanılacaktır. Elde edilen bu ağırlıklar ile karşılık gelen parametre değerleri çarpılmış, hesaplanan değer belirlenen eşik değeri ile karşılaştırılmış ve kabul/ret kararı verilmiştir. Test aşamasında, sonuçların %88.95 doğru tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Esinlenen yöntem olan regresyonda ise doğruluk oranı %64.53 değerine kadar ulaşabilmiştir. Elde edilen tüm bu sonuçlara göre, önerilen melez genetik algoritma, iplik kalite kabulü aşamasında bir öngörü olarak dikkate alınarak kabul sürecin hızlandırılması sağlanacaktır.

Makalenin 2. Bölümü, ilgilenilen konular ile ilgili literatürde daha önce yapılan çalışmaları, 3. bölüm melez genetik algoritma temel adımlarını, 4. bölüm, probleme özgü sinirsel ağ algoritmalarını detaylandırmaktadır. 5. bölümde hesaplama sonuçları karşılaştırılarak algoritma performansları ortaya konmuş, son olarak 6. bölüm ile makale tamamlanmıştır.

2.LİTERATÜR TARAMA (LITERATURE REVIEW)

Yapılan sınıflandırma çalışmaları iki koldan yürütülmüştür. İlki, ağırlıklandırılmış öznitelik seçimi ile sınıflandırma yapan melez genetik algoritma, diğeri ise sinirsel ağlar çalışma kapsamında yer alan melez RBF'dir. İki algoritma performansının karşılaştırılmasının ardından, melez genetik algoritma ile elde edilen en iyi kromozom katsayılarının sınıf tahmininde bulunması için geliştirilen, çoklu regresyondan esinlenen metot da bir tahmin öngörü yöntemi olarak önerilmiştir. Literatür taraması da bu kapsamda ilerletilerek, öznitelik seçim algoritmaları, sezgisel yöntemlerle sınıflandırma çalışmaları, sinirsel ağlar ile sınıflandırma çalışmaları, eş zamanlı sınıflandırma ve ağırlıklandırma algoritmaları ve regresyon tabanlı yöntemler irdelenmiştir.

Öznitelik seçimi, sonuç değerine en fazla katkıda bulunan özellikleri belirleme işlemidir ve doğru şekilde yapılabilirse, özellikle büyük veriler içeren sistemlerde modelin yüksek doğrulukta tahminler yapabilmesini kolaylaştırır. Konu ile ilgili literatür tarama çalışmaları farklı tarihlerde yapılmış ve çok değerli bilgileri hassasiyetle derleyebilmiştir [3, 4, 5]. Bu çalışmalarda da gözlemlenebileceği gibi, meta sezgisel yöntemler öznitelik seçimi problemlerinde sıklıkla kullanılmıştır. Örneğin Seera ve Lim [6], bulanık min-max sinirsel ağlar, sınıflandırma ve regresyon ağacı ve rasgele orman algoritmalarını içeren melez algoritma önermişler, algoritmayı UCI [7] veri bankası'ndaki tıbbi veri setlerine uygulamış ve sonuçları literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılarak doğrulamışlardır. Marinakis ve ark. [8] tarafından yapılan diğeri bir çalışma, önerilen melez

parçacık yığın optimizasyonu-değişken komşuluk arama algoritması olup öznelik altkümesi belirleme amacı ile kullanılmıştır. Öznelik seçimi konusunda genetik algoritma kullanan algoritmaların önemli bir kısmının kromozom yapılarında, seçilen parametrelerin, 1 seçilmeyen parametrelerin 0 ile gösterildiği (ikili gösterimin kullanıldığı) gözlemlenmiş ve bahsi geçen çalışmaların bazıları bu paragrafta derlenmiştir. Chatterfee ve Bhattacharjee [9] tarafından yapılan bir makalede, bir demir madeninde, ürünlerin kalite parametrelerini belirleme konusunda, öznelik seçimi için genetik algoritma kullanılmıştır. Çalışmada, kromozomun uygunluk fonksiyon değerini değerlendirmek için bir sinirsel ağ yapısı geliştirilmiştir. Diğer bir çalışmada ise genetik algoritma, hem öznelik hem de örnek seçimi için kullanılmış, böylece büyük veri seti küçültülebilmektedir [10]. El yazısı tanıma üzerine odaklanan, Das ve ark. [11] tarafından yapılan bir çalışmada ise genetik algoritma yanında diğer bazı meta sezgiseller de kullanılmış en yüksek doğru tanıma oranı alanında genetik algoritmanın diğer yöntemlerden daha iyi çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sınıflandırma, sınıf sayısının ve eldeki verilerin hangi sınıfa ait olduğunun bilindiği durumlarda, yeni verinin hangi sınıfa ait olabileceğinin tahmin edilmesidir. Karar ağaçları, en yakın komşuluk yaklaşımı, kural tabanlı yaklaşımlar, bayes sınıflandırıcı yaklaşımı, sinirsel ağlar gibi çok sayıda temel metot ve bu metotların geliştirilmiş versiyonları veri madenciliği temel yöntemlerini oluşturmaktadır [12]. Araştırmacılar, sınıflandırma problemlerinin çözümünde meta sezgisel yöntemlerden de sıklıkla yararlanmışlardır [13]. Farklı sınıflandırıcıların entegre edilerek genetik algoritmanın melezleştirildiği yöntemler, ihtiyaç duyulan alanlardaki problemler için etkili sonuçlar sergilemiştir. Zhao ve ark. [14] sınıflandırıcı olarak SVM (support vector machine-destek vektör makinesi) kullanan genetik algoritma önermişlerdir. Algoritma, eşzamanlı olarak SVM parametrelerini ve öznelik altkümesini eniyileyebilmek üzere çalışmış ve etkili sonuçlar elde edilmiştir. SVM'nin sınıflandırıcı, genetik algoritmanın arama algoritması olarak kullanıldığı diğer bir makalede, hiperspektral görüntü sınıflaması yapılmıştır [15]. Eritemato-skuamöz hastalık tanısı konusunda, Ozcift ve Gulten [16] tarafından yapılan çalışmada, bayes ağları sınıflandırıcısı ile melez özellik kazandırılan genetik algoritma, diğer yöntemlere kıyasla hastalığı teşhis etmede etkili bir araç olarak öne çıkmıştır.

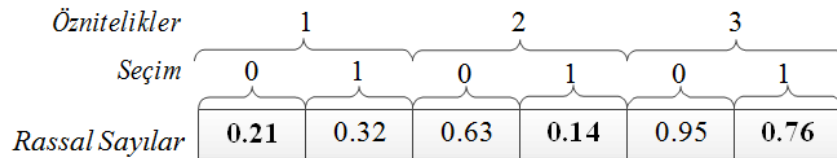
Optimizasyon, parametrik ve kontrol optimizasyonu olarak gruplandırılırsa, sinirsel ağlar, parametrik optimizasyon altındaki sürekli yapının bir kolu olarak değerlendirilebilir. Literatürde sıklıkla başvuru alan sinirsel ağlar kapsamında tanımlanmış çok sayıda algoritma mevcuttur. Doğrusal ve doğrusal olmayan fonksiyonların kullanıldığı sinirsel ağların birçok avantajından bazıları, neden sonuç ilişkisi yaratmaya yardımcı olmaları, verilerin değişkenliğine adapte olabilmeleri ve farklı yapıların eklenip çıkarılmasına uygun olmaları olarak sıralanabilir [17]. RBF ise, daha genel tahminci olması ve öğrenme hızının, lokal olarak ayarlanmış nöronlar sayesinde yüksek olması nedeni ile diğer sinirsel ağlardan farklılaşmaktadır [18]. RBF'in literatürde sıklıkla kullanıldığı alanlar örüntü tanıma ve sınıflandırma uygulamalarıdır [19, 20]. Bu makale kapsamında, önerilen melez genetik algoritma, melez RBF sinirsel ağlar yöntemi ile doğrulandığı için, RBF ile sınıflandırma yapan yöntemlerden bazıları da literatür tarama kapsamında irdelenmiştir. Fu ve Wang [21], önerdikleri ayrılabilirlik-korelasyon ölçüsü ile öznelik sayısını azaltarak RBF ağı karmaşıklık derecesini düşürmüş ve yüksek sınıflandırma performansı elde etmişlerdir. Çalışmada, sonuçların geçerlilikleri, UCI veri bankası [7]'daki bazı veri setleri kullanılarak doğrulanmıştır. Janik ve Lobos tarafından yayınlanan makalede, voltaj bozulmalarının otomatik sınıflandırması için SVM önerilmiş, sonuçları doğrulamak için ise RBF ile ilgili de çalışmalar yapılmıştır [22]. Literatürde, radyal tabanlı sinir ağları eksik verilerin tahmini için de kullanılmıştır [23]. 2018 yılında, tekstil sektöründe veri madenciliği ve makine öğrenmesi ile ilgili yapılan literatür taraması'nda sektörün problemlerine odaklanarak, farklı sınıflandırma ve kümeleme algoritmaları ile çözüme ulaşılmış yetmiş adedin üzerinde makale incelenmiştir [24]. Bahsi geçen çalışmaya göre, yün iplik bobinlerinin kuruma sürelerinin tahmini için RBF kullanan Akyol ve ark.[25], algoritmalarının performansını beş farklı metot ile karşılaştırarak ortaya koymuşlardır. Yıldız ve ark. [26] tarafından yapılan diğer bir çalışmada da, poplin ve gabardin dokuma kumaş kıyafetlerinin dikiş mukavemeti ve kopma uzaması modellenmesi için MLP (multilayer perceptron-çok katmanlı algılayıcı) ve RBF kullanılmış, benzer sonuçlar elde edilmiştir. Behera ve Karthikeyan [27] tarafından yayınlanan bir makale gölgelik kumaşlarının konstrüksiyon ve performans parametrelerinin tahmini için RBF kullanmıştır. Nurwaha ve Wang ise eğrilmiş iplik kalite tahmini için, aralarında RBF yönteminin de olduğu akıllı kontrol sistemlerini kullanmış ve yöntemleri istatistiksel olarak karşılaştırmışlardır [28]. Kotb [29] tarafından yapılan bir çalışmada da Mısır'da üretim yapan bir firmada, pamuk ve polyester iplik kalitesine etki eden faktörler lineer regresyon yöntemi ile belirlenmiştir. Abakar ve Yu [30], yaptıkları çalışmada iplik kalitesini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde yapay sinirsel ağlar ve SVM yöntemleri karşılaştırmış, sonuç olarak, RBF ve PUK (Pearson VII Universal Kernel) tabanlı SVM

ile elde edilen sonuçların yapay sinirsel ağlardan daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. İplik kalitesini etkileyen faktörlerden lif sayısını etkileyen parametreler ise Amin ve ark. [31] tarafından regresyon yöntemi ve istatistiksel teknikler ile belirlenmiştir. Raggi ve Barbiroli tarafından yapılan çalışmada da renk fark değeri olan Delta E üzerinde temel istatistiki çalışmalar yapılmıştır [32]. Literatürde ilaveten, dayanıklılık [33] ve burulmanın [34] iplik kalitesine etkileri ile ilgili çalışmalar da bulunmaktadır.

Bazı çalışmalarda ise, özneliğin sonucu etkileme derecesi öne çıkar. Bu tip problemlerin çözümünde ise öznelik ağırlıklandırma algoritmaları geliştirilmiştir. Esasında bu tip algoritmalarda, öznelik 0 değeri aldığında algoritma öznelik seçim algoritması olarak da ilerlemektedir. Literatür, öznelik ağırlıklandırma konusunda, öznelik seçimine göre daha az sayıda çalışma içermektedir. Eşzamanlı olarak öznelik seçimi ve öznelik ağırlıklandırma yapan algoritmalar genellikle sınıflandırıcı algoritmaları da içerisinde barındırmaktadır. Örneğin Tahir ve ark. [35] tarafından geliştirilen melez tabu arama algoritması, içerisine gömülü k-NN sınıflandırıcısı ile eşzamanlı öznelik seçim ve ağırlıklandırma yapmaktadır. Algoritmada k değişkendir. Konu ile ilgili, bu makaledeki genetik algoritmanın da temelini oluşturan çalışmada [36], eşzamanlı öznelik seçimi ve ağırlıklandırması birlikte yapılmış, değişken k'nın yer aldığı k-NN sınıflandırıcısı melez genetik algoritma içerisine gömülmüştür. Algoritmanın sınıflandırma performansı, UCI [7] veri tabanındaki veri setleri kullanılarak doğrulanmış ve sonrasında firmaların inovasyon seviyelerine etki eden faktörlerin en önemlileri belirlenmiştir. Bu makalede, temelde benzer algoritma kullanılacak, probleme özel adaptasyonlar yapılacak, sinirsel ağlar ile performans karşılaştırması yapılacak ve elde edilen öznelik ağırlıkları doğrudan kabul ret kararının verilmesinde bir formülasyonun içinde kullanılacaktır. Sonucun tahmininde faktör ağırlıklarını kullanmak regresyon tabanlı yöntemleri [37, 38] daha uygulanabilir kılmaktadır. Sektörde hızlı karar vermeyi kolaylaştıracak yaklaşımlara olan ihtiyaç nedeniyle, son aşamada, önerilen melez genetik algoritma ile elde edilen ağırlıklar, iplik üreticisinden gelen lotların kabul ya da ret kararında bir öngörü bilgi olarak kullanılacaktır.

3. MELEZ GENETİK ALGORİTMA İLE SINIFLANDIRMA (CLASSIFICATION VIA HYBRID GENETIC ALGORITHM)

Sınıflandırıcı olarak k-NN algoritmasının kullanıldığı, genleri rassal sayılardan oluşan ve bu rassal sayıların aynı zamanda özneliklerin ağırlıklarını gösterdiği, lokal arama ile melezleştirilmiş genetik algoritmanın [36] etkinliği, daha önceki çalışmalarda farklı veri kümeleri ve algoritmalar ile karşılaştırılarak doğrulanmış olup, bu çalışmada algoritma, iplik kalite kabul problemine özel adaptasyonlarla güçlendirilmiştir. Örnek kromozomun Şekil 1'deki gibi gösterildiği yapıda, her bir gen içerisindeki rassal sayılar, 0 ile 1 arasında düzgün dağılıma göre türetilmiştir. Her gen çifti bir özneliğe atanmış olup, eğer gen çiftinin ilk değeri en küçük değere sahip ise incelenen öznelik, öznelik kümesine dahil edilmez (seçilmez), aksi durumda öznelik seçilir. Seçilen özneliklerin ağırlıkları da rassal sayılardır. Şekil 1'deki yapı üç öznelik içeren bir kromozomu temsil etmektedir. Öznelik 1 için türetilen iki rassal sayı olan 0.21 ve 0.32 karşılaştırıldığında ilk rassal sayı daha küçük olduğundan, 0.21 üzerinden ilerlenir ve bu gene karşılık gelen seçim kararı uygulanır (0 → Seçim negatif). Bu karara göre Öznelik 1, öznelikler kümesine dahil edilmemiştir. Benzer çalışma Öznelik 2 için yapıldığında, 0.63 ve 0.14 karşılaştırılır ve 0.14 daha küçük sayı olduğu için bu gene karşılık gelen seçim kararı olan 1'e göre Öznelik 2 seçilir. Öznelik 3 için de benzer karşılaştırmalar yapıldıktan sonra seçim kararı verilmiştir. Bu kromozomdaki rakamlara göre Öznelik 2 ve Öznelik 3 seçilmiş, ağırlıkları da sırasıyla 0.14 ve 0.76 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1: Melez genetik algoritma kromozom yapısı

Önerilen algoritmanın ana adımları aşağıdaki gibidir.

- I. Veri önışleminden geçirilir. Doğrusal ölçeklendirmenin uygulandığı bu aşamada, her bir öznelik, (1) numaralı formülasyona göre 0 ile 1 arasında ölçeklendirilir. Bu formülasyonda v orijinal değeri, v' ölçeklendirilmiş değeri, max özneliğin en büyük değerini, min özneliğin en küçük değerini ifade etmektedir.

$$v' = \frac{v - min}{max - min} \quad (1)$$

- II. Önerilen yöntemin sınıflandırma doğruluk oranı 10-katlı çapraz doğrulama (10-fold cross validation) yöntemi ile hesaplanmıştır. Sınıflandırıcı doğrulaması için kullanılan yöntemde öncelikle, veri eşit büyüklükte 10 alt kümeye ayrılır. Sonrasında, sırasıyla her alt küme test için ve geri kalan eğitim için kullanılır. Sonuç olarak, n örnekleme sahip veri seti $f=10$ kat (fold)'a bölünmüştür. $f=1$ 'den 10 'a kadar her f katı için aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

- i. Veri setinin f 'inci $n/10$ adet verisi test verisi olarak ayrılır.
- ii. Kalan $n-(n/10)$ adet veriyi kullanarak eğitim yapılır. Bu aşamada, eğitim verisinin $2/3$ adedi doğrudan eğitimde, $1/3$ adedi doğrulama aşamasında kullanılır.
 - a. Melez genetik algoritma kullanılarak öznelikler ve ağırlıklarının tanımlı olduğu başlangıç popülasyon oluşturulur. Hem başlangıç popülasyonu, hem de sonraki nesillerdeki her bir kromozomun uygunluk fonksiyonu değeri hesabı için, hem öznelik sayısını azaltmaya, hem de doğruluk oranını arttırmaya çalışan, Zhao ve ark. [14] tarafından önerilen algoritmadan esinlenilerek oluşturulan, (2) numaralı formülasyon kullanılır.

$$Uygunluk\ fonksiyonu = 1 - \left(0.999 * \frac{Toplam\ Hata\ Sayısı}{Test\ örneklem\ Sayısı} + 0.001 * \left(1 - \left(P + \frac{Seçilen\ öznelik\ sayısı}{Öznelik\ Sayısı} \right)^{-1} \right) \right) \quad (2)$$

- b. Her bir kromozom için k-NN sınıflandırıcısı kullanılır. Bu sınıflandırıcıda, eğitim kümesindeki bilinmeyen örnek (doğrulama verisi), en yakın k adet komşusunda en sık görülen sınıf etiketi ile sınıflandırılır. Melez genetik algoritmada,

- ✓ k değeri kromozoma bir gen olarak eklenmiş olup değişkendir ve kromozomda 3-10 arasında değer atanır. En iyi kromozom, en iyi k sayısını da belirlemiş olacaktır. Eğitim setinin $1/3$ 'üne karşılık gelen her bir doğrulama verisi için aşağıdaki hesaplama yapılır;
 - Eğitim setinin $2/3$ 'ne karşılık gelen eğitim setine Öklid uzaklığı hesaplanır.
 - En küçük mesafenin hesaplandığı k adet veri seçilir.
 - Bu verilerin sınıfları arasında en fazla tekrar eden sınıf, tahmin edilen sınıftır.
 - Eğer tahmin edilen sınıf değeri, doğrulama verisindeki gerçek sonuçtan farklı ise hata sayısı değeri 1 arttırılır.

- ✓ Uygunluk fonksiyonundaki Toplam Hata Sayısı, doğrulama veri kümesindeki her bir veri için elde edilen hata sayılarının toplamı ile bulunur.

- c. Lokal arama: Tüm kromozomların en iyi uygunluk fonksiyon değerine ulaşabilmesi için lokal arama uygulanır. Buna göre, daha önce seçilmeyen bir özneliğin seçilme durumu ve seçilmiş olanın ağırlığının değişme durumları gözden geçirilir. İlgilenilen kromozomun, lokal arama ile en iyilenmesi sağlanır.
- d. Doğrululuk oranı değerinin hesaplanması: İterasyonlar, belirlenen nesil sayısı kadar ilerletildikten sonra, elde edilen en iyi kromozoma ulaşılır. Bu kromozom kullanılarak, daha önce test için ayrılan test kümesi verileri ile doğruluk oranı hesaplanır.
- iii. İlaveten her bir kat için algoritma 10 kez çalıştırılmış, elde edilen doğruluk değerlerinin ortalaması ilgili kat için doğruluk değeri olarak kaydedilmiştir. Sonuç olarak elde edilen doğruluk oranı değeri, algoritmanın 100 kez çalıştırılması ile elde edilmiştir

Önerilen algoritma, C# programlama dilinde kodlanmış olup algoritmanın deneysel tasarımına ve sonuçlarına dair yorumlar 5. Bölümde detaylandırılmıştır.

4. MELEZ RBF İLE SINIFLANDIRMA (CLASSIFICATION VIA HYBRID RBF)

Bu bölümde detaylandırılan RLS Yaklaşımı ile melezleştirilmiş RBF algoritması, Matlab R2013a programlama ortamında kodlanmıştır. İplik kalite kabul örneği üzerinde yapılan analiz sonuçları ve karşılaştırmalar, sonraki bölümde detaylandırılmıştır.

RBF sinirsel ağının anlatımı için Şekil 2'deki yapı ve aşağıdaki açıklamalar dikkate alınabilir [17]. Bu yapı üç katmandan oluşur.

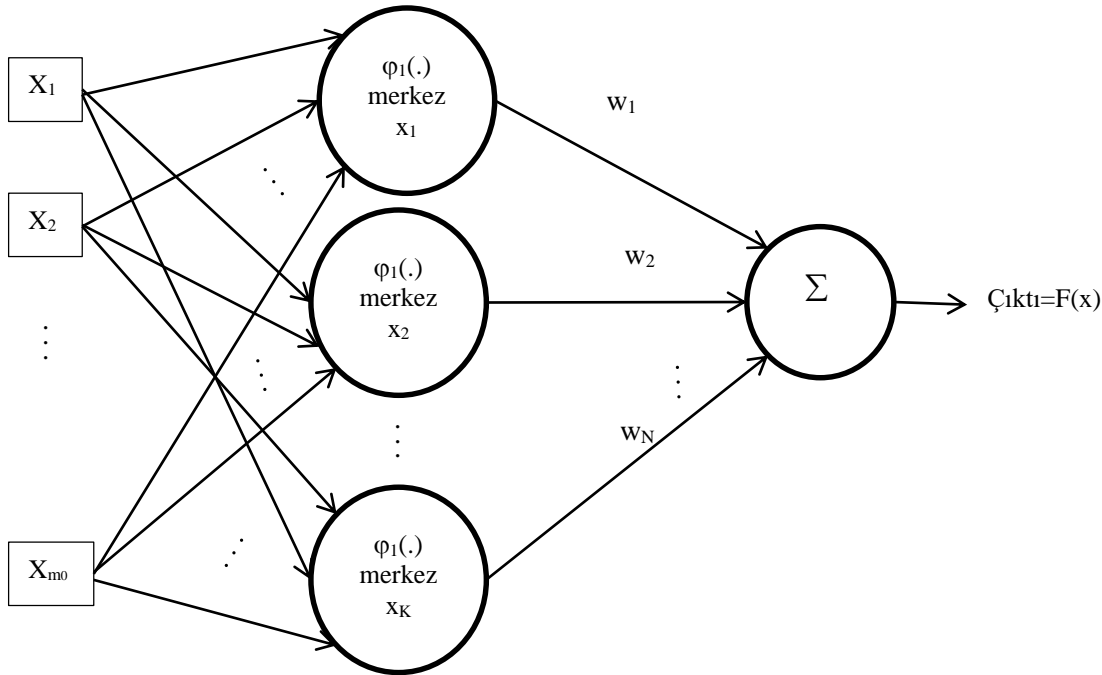
1. Girdi katmanı: m_0 adet kaynak düğümü içerir. Burada m_0 girdi vektörü olan x 'in boyutudur. Örneğimizde iplik kalite kabul kararını etkileyen özneliliklerdir.
2. Gizli katman: Eğitim örnekleminde daha az sayıda $K < N$ hesaplama birimi içerir. Her birim matematiksel olarak radyal tabanlı fonksiyon olarak tanımlanabilir. Radyal tabanlı fonksiyon olarak Gauss fonksiyonu kullanıldığında, gizli katmandaki her bir hesaplama birimi için (3) no'lu formülasyon yazılabilir. Bu formülasyonda σ_j, x_j merkezli Gauss fonksiyonunun genişliğidir.

$$\varphi_j(x) = \varphi(x - x_j) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_j^2} \|x - x_j\|^2\right), \quad j = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

j . girdi veri noktası olan x_j , radyal tabanlı fonksiyonun merkezini, ve x vektörü girdi katmanına gönderilen sinyali gösterir.

3. Çıktı katmanı: Şekil 2'deki çıktı katmanı, (4) no'lu formülasyonda gösterildiği gibi tek hesaplama birimi içermektedir.

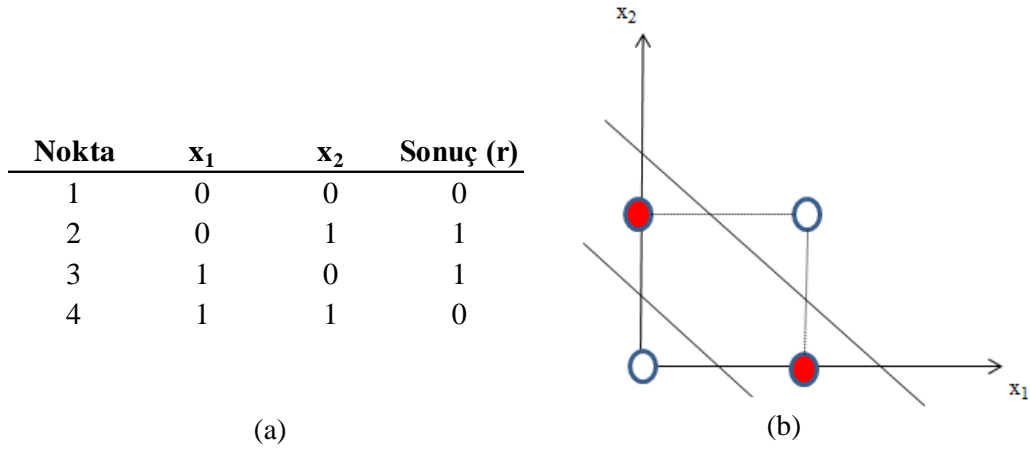
$$F(x) = \sum_{j=1}^K w_j \varphi_j(x, x_j) \quad j = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$



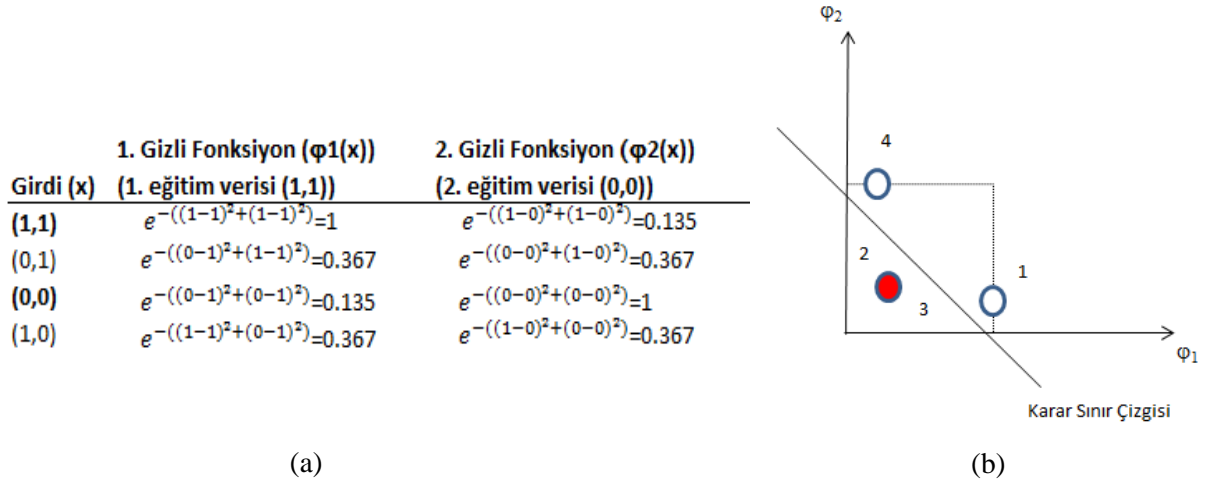
Şekil 2: RBF ağının yapısı

Yöntem, literatürde de sıklıkla kullanılan, lineer olarak ayrıştırılamayan XOR örneği ile daha iyi anlaşılabilir. Şekil 3 (a), her bir noktanın x değerlerini ve XOR fonksiyonu sonrasında elde edilen sonuç değerini göstermektedir. Şekil 3 (b), x_1 ve x_2 eksenlerinde noktaların yerini göstermektedir. Problemin çözümü için doğrusal olmayan gizli katman kullanımı işe yarayacaktır. RBF yönteminin uygulanış adımları ise Şekil 4 (a)'daki gibidir. Burada, gauss fonksiyonu sayesinde XOR, doğrusal olarak birbirinden ayrılabilen bir yapıya sahip olmuştur. Şekil 4(b)'deki grafik de bu durumu doğrulamaktadır. Şekil 5 ise çıktı değeri hesaplama adımlarını göstermektedir. Şekil 4 sonucunda elde edilen denklemlerin çözülmesi ile

w_1 ve w_2 ağırlıklarına ulaşılacak, sonrasında girdi olarak verilen herhangi bir verinin sınıfının tahmin edilmesi sağlanabilecektir.



Şekil 3 (a) Her bir noktanın koordinatı ve XOR fonksiyonu uygulandıktan sonraki sonuç değeri (b) XOR fonksiyonunun x_1 ve x_2 eksenlerindeki grafiksel gösterimi



Şekil 4 (a) RBF uygulama adımları (b) XOR fonksiyonunun ϕ_1 ve ϕ_2 eksenlerindeki grafiksel gösterimi

x	$\phi_1(x)$	$\phi_2(x)$	d
(1,1)	1	0.135	0
(0,1)	0.367	0.367	1
(0,0)	0.135	1	1
(1,0)	0.367	0.367	0

$$\left. \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \right\} [w_1 \ w_2] * \begin{bmatrix} 1 & 0.367 & 0.135 & 0.367 \\ 0.135 & 0.367 & 1 & 0.367 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Şekil 5 Ağırlıkların bulunmasında kullanılacak denklemlerin elde edilmesi

Ağırlıkları gösteren w değerine ulaşabilmek için matris çarpımları ve matris tersi alma yöntemi de kullanılabilir. Burada Φ , (5) numaralı denklemdeki gibi tanımlanırsa,

$$\Phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_j)^T \quad j = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

Şekil 5'deki denklemde bulunan w ağırlıklarının bulmak için, (6) numaralı eşitlik oluşturulabilir.

$$\Phi w = d \quad (6)$$

Bu yapı, (7) numaralı denklemdeki gibi yazılabilir.

$$\Phi^T \Phi w = \Phi^T d \quad (7)$$

Sonraki aşamada, $\Phi^T \Phi$ matrisinin tersi alınarak w bulunabilir.

Eğer ilgili matrisin tersi alınamıyorsa, sinirsel ağlardaki iteratif yöntemlerden biri kullanılarak w matrisi elde edilebilir. Melezleştirme aşamasında, gizli katmanların eğitimi için K-means algoritması kullanılmış, çıktı katmanının eğitimi için ise RLS yöntemine başvurulmuştur. Sonuç olarak, w değerleri iteratif olarak güncellenerek çözüm elde edilecektir.

K-means algoritması hesaplamalarını iteratif bir yöntem ile ilerletir. RLS yöntemi de K-means mantığı ile ilerleyen bir algoritma olduğundan, her iterasyonda bulunan ağırlık değeri ile önceki ağırlık değeri arasındaki fark değerine odaklanarak güncellemeler yapılacaktır. (7) numaralı formülasyonda, (8) numaralı denklemde gösterildiği gibi dönüşümler yapılırsa,

$$\underbrace{\Phi^T \Phi}_{R(n)} w = \underbrace{\Phi^T d}_{r(n)} \quad (8)$$

$$R(n)w(n) = r(n)$$

Bu yapıda, $w(n)$ ağırlık matrisi ile $w(n-1)$ ağırlık matrisi arasındaki fark bulunmaya çalışılacağından, $r(n)$, $r(n-1)$ ile bağıntılı yazılacaktır. Buna göre, (9) numaralı eşitlik ortaya çıkmaktadır.

$$\begin{aligned} r(n) &= \sum_{i=1}^{n-1} (\Phi(x_i)d(i)) + \Phi(x_n)d(n) \\ &= r(n-1) + \Phi(x_n)d(n) \\ &= R(n-1)w(n-1) + \Phi(x_n)d(n) \end{aligned} \quad (9)$$

Bu denkleme $\Phi(n)\Phi^T(n)w(n-1)$ ekleyip çıkarılırsa, (10) numaralı eşitlik elde edilecektir.

$$r(n) = w(n-1) \underbrace{[R(n-1) + \Phi(n)\Phi^T(n)]}_{R(n)} + \Phi(n) \underbrace{[d(n) - \Phi^T(n)w(n-1)]}_{\substack{d(n) - w^T(n-1)\Phi(n) \\ \alpha: \text{Önceki tahmin}}} \quad (10)$$

$r(n)$ yerine $R(n)w(n)$ yazılarak denklem sadeleştirilirse (11) numaralı eşitlik elde edilir.

$$R(n)w(n) = R(n) * w(n-1) + \Phi(n)\alpha(n) \quad (11)$$

Her iki taraf $R^{-1}(n)$ ile çarpılırsa, (12) numaralı eşitlikte de görülebileceği gibi $w(n)$ değerine ulaşılabilir.

$$w(n) = w(n-1) + R^{-1}(n)\Phi(n)\alpha(n) \quad (12)$$

Sonuç olarak, ağırlıklar arası fark (13) numaralı denklemde gösterildiği gibi yazılabilir. Denklemde, $\alpha(n)$, önceki tahmin olduğuna göre, ağırlık vektörleri arası fark, kazanç matrisi ve önceki tahmin çarpımı ile bulunabilir.

$$\Delta w = \underbrace{R^{-1}(n)\Phi(n)}_{\text{Kazanç matrisi}} \alpha(n) \quad (13)$$

(13) numaralı eşitlikteki $R^{-1}(n)$ matrisinin bulunması için, matris tersi alma teoremi (matrix inversion lemma) gereğince, (14) numaralı eşitlik yazılabilir.

$$R(n) = R(n-1) + \Phi(n)1\Phi^T(n) \quad (14)$$

(14) numaralı eşitlikteki $R(n)$ matrisinin tersi (15) denkleminde gösterildiği gibi bulunabilir.

$$R^{-1}(n) = R^{-1}(n-1) - \frac{R^{-1}(n-1)\Phi(n)\Phi^T(n)R^{-1}(n-1)}{1 + \Phi(n)R^{-1}(n-1)\Phi(n)} \quad (15)$$

Algoritmayı başlatmak için;

$w(0)=0$ ve $R^{-1}(0) = \lambda^{-1} * I$ ataması yapılabilir. I birim matris olup, λ değerinin küçük seçilmesi eğitim örnekleme kalitesinin güvenilirliğini sağlayacaktır.

Matlab R2013a ortamında kodlanan algoritma ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması sonraki bölümde detaylandırılmıştır.

5. İPLİK KALİTE KABUL SÜRECİNE UYGULAMA VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI (IMPLEMENTATION ON YARN INCOMING QUALITY CONTROL PROCESS AND COMPARISON OF RESULTS)

Bu bölümde, Bursa'da döşemelik kumaş üreten bir firmaya ait iplik kalite kabul süreci incelenmiştir. İplik kabul sürecinde dikkate alınan 4 adet parametre bulunmaktadır Bunlar, dayanıklılık, burulma, lif sayısı ve renk farklılığını gösteren Delta E parametreleridir. Bahsi geçen parametreler dikkate alınarak, ilaveten uzman personelin görüşleri nezaretinde iplik kabul işlemleri yapılır. Temelde, hem süreci hızlandırmak, hem de karar verici kişiye yardımcı olacak bir destek sistemi tasarlamak hedeflenmiştir. Bahsi geçen problemde 1231 veri dikkate alınmıştır. Tablo 1, kullanılan veri setinden bir kesiti göstermektedir. Son sütundaki 1 değeri iplik lotunun giriş kabulünü aldığını, -1 değeri ise reddedilen iplik lotu olduğunu göstermektedir.

Tablo 1: İplik kabulü probleminde dikkate alınan veri seti kesiti

Lot No:	Dayanıklılık	Burulma	Lif Sayısı	Delta E	Sonuç
1	10.22	942.00	3.90	0.82	1
2	10.65	947.00	4.00	0.95	-1
3	10.65	942.00	3.90	0.78	1
4	11.25	936.00	3.80	0.89	1
5	10.66	957.00	4.00	0.80	1
6	10.66	948.00	4.00	0.78	1
7	11.20	946.00	4.00	0.80	1
8	10.56	938.00	3.80	0.71	1
9	11.66	942.00	4.00	1.37	-1
...
1226	11.33	942.00	3.80	0.77	-1
1227	10.65	942.00	3.80	0.77	1
1228	11.00	945.00	4.00	0.85	1
1229	10.69	943.00	3.90	0.82	1
1230	10.88	948.00	3.90	0.76	-1
1231	10.69	942.00	3.80	0.75	-1

Melez genetik algoritma parametre seçimleri, deneysel tasarım ile yapılmış, analizler tamamlandığında en iyi sonuçlara, popülasyon sayısı 100, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı değerleri için sırasıyla 1 ve 0.5 değerleri kullanıldığında ulaşılabilmektedir. Algoritmada da anlatıldığı gibi, değişken k içeren k-NN sınıflandırıcısı kromozoma entegre edilmiştir. Melez RBF için ise, gizli katman (K) sayısı 24 olarak belirlenmiş, K-means algoritması ile orta noktaların hangi örnekler olduğuna karar verilmiştir. Melez genetik algoritma C# programlama dilinde, melez RBF Matlab R2013a ortamında kodlanmış ve 2.10 GHz hızında çalışan Intel Core i7-3612QM işlemcili bilgisayarda çalıştırılmışlardır. İlave olarak, Naive Bayes [39] ve IBk [40] sınıflandırma algoritmalarının performansları da Weka veri madenciliği yazılımı [41] kullanılarak elde edilmiştir. Weka, algoritma karşılaştırmaları için sıklıkla başvurulan [42] bir açık kaynak yazılımıdır. Tablo 2, bahsi geçen algoritmalar ile elde edilen sınıflandırma doğruluk oranı değerlerini karşılaştırmaktadır. Değerler, 10-katlı çapraz doğrulamadaki her katın 10 farklı çekirdek değeri ile tekrarlanması sonucunda elde edilen 100 doğruluk oranının ortalaması olup, Tablo 2'ye göre melez genetik algoritma ve melez RBF sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenebilir.

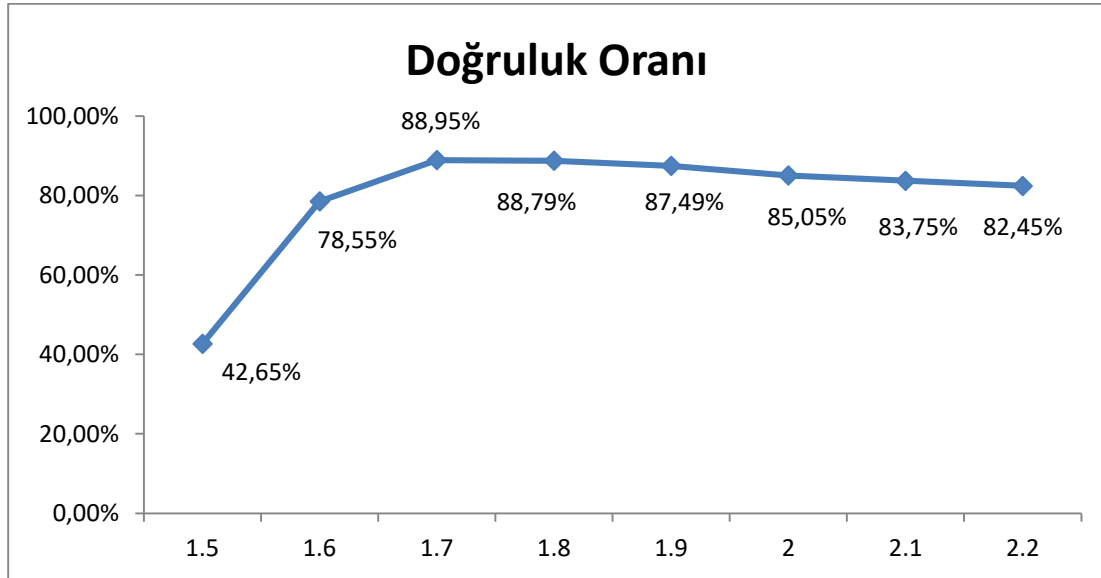
Tablo 2: Metotların sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması

Metod	Ortalama Doğruluk Oranı (%)
Melez RBF	90.25
Melez genetik algoritma	90.14
Naive Bayes	87.11
IBk	82.57

Melez genetik algoritmanın problem için sergilediği performans seviyesi gözlemlendikten sonra, firmanın kalite kabul aşamasında daha hızlı karar verebilmesini desteklemek için genetik algoritma seçeneğine odaklanılmıştır. Daha önce de anlatıldığı gibi, melez genetik algoritma, k-NN mantığı ile ilerleyip sonucu tahmin etmek istediği örneği en yakın k adet komşusunda en sık görülen sınıf etiketi ile sınıflandırmaktadır. Elde edilen modelin (en iyi kromozom) kabul aşamasında daha etkin kullanılabilmesi için ise seçilen özneliklerin ve en iyi kromozomdaki katsayılarının doğrudan kullanılması sağlanmıştır. Tablo 3, yapılan çalışmaları özetlemek için kullanılabilir. Melez genetik algoritmanın en iyi olarak seçtiği kromozomda birinci (Dayanıklılık) ve dördüncü (Delta E) öznelikler sınıflandırma için kullanılmış ve ağırlıkları sırasıyla 0.1 ve 0.58 olarak belirlemiştir. Burulma ve Lif Sayısı öznelikleri kromozom tarafından seçilmediği için Tablo 3'de üçüncü ve dördüncü sütunlar gri ile gösterilmiştir ve kabul kararında kullanılmamıştır. Tablo 3'ün altıncı sütununda da gösterildiği gibi, öznelik değerleri ile ağırlıklarının çarpılması ile elde edilen sonuçların toplamı, model hesap değeri olarak tanımlanmıştır. Tüm verilerin model hesap değeri, 1. ve 4. özneliklerin her birine ait değerin belirlenen katsayıları ile çarpılması ve çarpım sonuçlarının toplanmasının ardından elde edilmiş ve bu sonuçlar bir skalada değerlendirilmiştir. Sonuçların 1.30 - 3.85 aralığında dağıldığı, en sık gözlemlenen rakamların ise 1.5 - 2.2 aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Sonrasında, 1.5 ile 2.2 aralığında 0.1 ilerleyerek elde edilen her bir değerin eşik değeri seçilmesi sonucundaki doğruluk oranı hesaplanmış ve grafiği, Şekil 6'daki gibi oluşturulmuştur. Şekil 6'daki grafiğe göre en yüksek doğruluk oranı olan % 88.95 değeri, 1.7 eşik değeri kullanılarak elde edilmiştir. Tablo 3'ün yedinci sütunda, model hesap değeri, en yüksek doğruluk oranını veren 1.7 eşik değeri ile karşılaştırılarak kabul ya da ret kararı ile ilgili bir tahmin yapılmaktadır. Son sütun ise gerçek kabul (1) ya da ret (-1) kararını göstermektedir. Elde edilen doğruluk oranı, Tablo 2'deki, melez genetik algoritma ortalama değeri olan % 90.14 değerine yakın olduğundan bahsi geçen katsayılar bir öngörü olarak kabul-ret karar aşamasında destek olarak kullanılabilir. Yapılan çalışmayı doğrulamak için, esinlenen yöntem olan regresyondaki doğruluk oranı performansı ise Weka [41] ile hesaplanmış ve %64.53 değeri hesaplanmıştır. Önerilen yöntem, belirgin bir farkla daha iyi performans sergilemiştir. Bununla birlikte, ilgili değerlerin belirli frekanslarla güncellenmesi, verilen kararın doğruluk oranının ortalama seviyelerde kalmasını destekleyecektir.

Tablo 3: Öznitelik katsayılarına göre kabul ret kararı

Lot No	Dayanıklılık	Burulma	Lif Sayısı	Delta E	Model hesap : Dayanıklılık * 0.1+ Delta E * 0.58	Tahmin : Model Hesap ≤ 1.7 ; 1 > 1.7 ; -1	Sonuç
1	10.22	942.00	3.90	0.82	1.50	1	1
2	10.65	947.00	4.00	0.95	1.62	1	-1
3	10.65	942.00	3.90	0.78	1.52	1	1
4	11.25	936.00	3.80	0.89	1.64	1	1
5	10.66	957.00	4.00	0.80	1.53	1	1
6	10.66	948.00	4.00	0.78	1.52	1	1
7	11.20	946.00	4.00	0.80	1.58	1	1
8	10.56	938.00	3.80	0.71	1.47	1	1
9	11.66	942.00	4.00	1.37	1.96	-1	-1
...
1226	11.33	942.00	3.80	0.77	1.58	1	-1
1227	10.65	942.00	3.80	0.77	1.51	1	1
1228	11.00	945.00	4.00	0.85	1.59	1	1
1229	10.69	943.00	3.90	0.82	1.54	1	1
1230	10.88	948.00	3.90	0.76	1.53	1	-1
1231	10.69	942.00	3.80	0.75	1.50	1	-1



Şekil 6 Farklı değerlere göre doğruluk oranlarının karşılaştırılması

6.SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan çalışmanın amacı, gerçek üretim ortamının giriş kalite kontrol aşamasında, iplik kabul kararının verilmesini destekleyecek bir öngörü karar destek modelinin kurulmasıdır. Bu amaçla, daha önce, öznitelik seçimi ve sınıflandırma ile ilgili problemlerin çözümü için önerilen ve performansı doğrulanan melez genetik algoritma, C# programlama dilinde probleme adapte edilmiştir. Eşzamanlı öznitelik seçim ve ağırlıklandırması yapan, değişken k politikası içeren k-NN sınıflandırıcısının ve lokal aramanın genetik algoritmanın içerisine gömüldüğü melez yapı bu makalede ilk kez sinirsel ağlar ile karşılaştırılmıştır. Sinirsel ağlar kapsamında, RLS süzgeci ile melezleştirilen RBF ve RLS algoritma adımları detaylı olarak

tanımlanmış ve Matlab R2013a'da kodlanmıştır. Uygulama sürecinde ise öncelikle iplik kalite kabul aşamasında kabul ya da ret kararını etkileyen parametreler ve örnek sayısı ile ilgili problem kapsamı hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Geliştirilen melez genetik algoritma ve melez RBF algoritmalarının dışında, Naive Bayes ve IBk algoritmalarının sınıflandırma performansları da ölçülmüş ve dört adet algoritmanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan değerler, her bir algoritmanın 10-katlı çapraz doğrulamasının her katının 10 kez tekrarlanarak elde edildiği 100 adet sonucun ortalamasıdır. Ortalama %90.14 doğruluk oranı ile melez genetik algoritma, %90.25 doğruluk oranı hesaplanan melez RBF algoritması ile yakın değer elde edebilmiştir. Önerilen melez genetik algoritmanın en iyi kromozomunun yapısından hem önemli öznelikler hem de bunların katsayıları doğrudan alınabildiği için, performansı doğrulanmış olan genetik algoritma ile kabul kararı öngörü sistemi üzerinde çalışılmıştır. Eldeki tüm veriler kullanılarak, en iyi kromozomun seçtiği birinci ve dördüncü özneliklerin değerleri ve katsayıları çarpılıp toplanarak, ve sonrasında belirlenen eşik değeri ile karşılaştırılarak kabul ya da ret kararının verilmesi durumunda %88.95 doğruluk oranı tespit edilmiştir. Yöntemin, iplik kabul aşamasında kullanımı ile kararların daha hızlı şekilde verilebileceği bir öngörü sistemi geliştirilmiştir. Önerilen yöntem, ilham alınan metot olan regresyon ile de karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin belirgin bir farkla daha iyi performans sergilediği gözlemlenmiştir.

Sonraki çalışmalar, öznelik sayısının daha fazla olduğu, nümerik değerlerin yanında kategorik verilerin de olduğu veri setleri de dikkate alınarak yapılabilir. İlaveten daha yüksek doğruluk oranı değerlerini veren algoritmaların geliştirilmesine de odaklanılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] H. Hillaker, John Boyd, USAF Retired, Father of the F-16, Code One: An Airpower Projection Magazine, (1997).
- [2] D. Galinec , W. Steingartner, A look at observe, orient, decide and act feedback loop, pattern-based strategy and network enabled capability for organizations adapting to change, Acta Electrotechnica et Informatica, 13(2) (39), (2013).
- [3] W. Ni, A review and comparative study on univariate feature selection techniques (Doctoral dissertation, University of Cincinnati) (2012).
- [4] Y. Saeys, I. Inza , P. Larrañaga, A review of feature selection techniques in bioinformatics, Bioinformatics, 23(19) (2007) 2507-2517.
- [5] J. R. Vergara, P.A. Estévez, A review of feature selection methods based on mutual information, Neural computing and Applications, 24(1) (2014) 175-186.
- [6] M. Seera, C.P. Lim, A hybrid intelligent system for medical data classification, Expert Systems with Applications, 41(5) (2014) 2239-2249.
- [7] K. Bache, M. Lichman, UCI Machine Learning Repository [<http://archive.ics.uci.edu/ml>]. Irvine, CA: University of California, School of information and computer science, 28, (2013).
- [8] Y. Marinakis, M. Marinaki, A hybridized particle swarm optimization with expanding neighborhood topology for the feature selection problem, In International Workshop on Hybrid Metaheuristics, Springer, Berlin, Heidelberg (2013) 37-51.
- [9] S. Chatterjee, A. Bhattacharjee, Genetic algorithms for feature selection of image analysis-based quality monitoring model: An application to an iron mine, Engineering applications of artificial intelligence, 24(5) (2011) 786-795.
- [10] C. F. Tsai, W. Eberle, C.Y. Chu, Genetic algorithms in feature and instance selection, Knowledge-Based Systems, 39 (2013) 240-247.
- [11] N. Das, R. Sarkar, S. Basu, M. Kundu, M. Nasipuri, D.K. Basu, A genetic algorithm based region sampling for selection of local features in handwritten digit recognition application, Applied Soft Computing, 12(5) (2012) 1592-1606.

- [12] H. Du, *Data Mining Techniques and Applications: an introduction*, Cengage Learning EMEA (2010).
- [13] T. Sousa, A. Silva, A. Neves, Particle swarm based data mining algorithms for classification tasks, *Parallel Computing*, 30(5-6) (2004) 767-783.
- [14] M. Zhao, C. Fu, L. Ji, K. Tang, M. Zhou, Feature selection and parameter optimization for support vector machines: A new approach based on genetic algorithm with feature chromosomes, *Expert Systems with Applications*, 38(5) (2011) 5197-5204.
- [15] S. Li, H. Wu, D. Wan, J. Zhu, An effective feature selection method for hyperspectral image classification based on genetic algorithm and support vector machine, *Knowledge-Based Systems*, 24(1) (2011) 40-48.
- [16] A. Özçift, A. Gülten, Genetic algorithm wrapped Bayesian network feature selection applied to differential diagnosis of erythematous-squamous diseases, *Digital Signal Processing*, 23(1) (2013) 230-237.
- [17] S. S. Haykin, *Neural networks and learning machines (Vol. 3)*. Upper Saddle River: Pearson. (2009).
- [18] J. X. Du, C.M. Zhai, A hybrid learning algorithm combined with generalized rls approach for radial basis function neural networks, *Applied Mathematics and Computation*, 205(2) (2008) 908-915.
- [19] Y. J. Oyang, S.C. Hwang, Y.Y. Ou, C.Y. Chen, Z.W. Chen, Data classification with radial basis function networks based on a novel kernel density estimation algorithm, *IEEE transactions on neural networks*, 16(1) (2005) 225-236.
- [20] D. S. Huang, Application of generalized radial basis function networks to recognition of radar targets, *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 13(06), (1999) 945-962.
- [21] X. Fu, L. Wang, Data dimensionality reduction with application to simplifying RBF network structure and improving classification performance, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 33(3) (2003) 399-409.
- [22] P. Janik, T. Lobos, Automated classification of power-quality disturbances using SVM and RBF networks, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(3) (2006) 1663-1669.
- [23] V. Gümüş, M.E. Kavşut, Zamanti Nehri-Ergenusağı İstasyonu Eksik Aylık Akım Verilerinin Tahmini, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*.1(2) (2013) 81-91.
- [24] P. Yildirim, D. Birant, T. Alpyildiz, Data mining and machine learning in textile industry, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(1):e1228, (2018).
- [25] U. Akyol, P. Tüfekci, K. Kahveci, A. Cihan, A model for predicting drying time period of wool yarn bobbins using computational intelligence techniques, *Textile Research Journal*, 85(13) (2015) 1367-1380.
- [26] Z. Yildiz, V. Dal, M. Ünal, K. Yildiz, Use of artificial neural networks for modelling of seam strength and elongation at break, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, (2013).
- [27] B. K. Behera, B. Karthikeyan, Artificial neural network-embedded expert system for the design of canopy fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 36(2) (2006) 111-123.
- [28] D. Nurwaha, X.H. Wang, Using intelligent control systems to predict textile yarn quality, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 20(1) (2012) 23-27.
- [29] N. A. Kotb, Predicting yarn quality performance based on fibers types and yarn structure, *Life Science Journal*, 9(3) (2012) 1009-1015.
- [30] K. A. Abakar, C. Yu, The performance of data mining techniques in prediction of yarn quality, *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 4(4) (2013) 390.

- [31] M. Amin, M. A. Ullah, A. Akbar, Identification of cotton properties to improve yarn count quality by using regression analysis, *Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research Series A: Physical Sciences*, 57(3) (2014) 167-171.
- [32] A. Raggi, G. Barbiroli, Colour difference measurement: The sensitivity of various instruments compared, *Color Research & Application*, 18(1) (1993) 11-27.
- [33] H. C. Lien, S. Lee, Applications of neural networks for grading textile yarns, *Neural Computing & Applications*, 13(3) (2004) 185-192.
- [34] M. Krifa, M.D. Ethridge, Compact spinning effect on cotton yarn quality: Interactions with fiber characteristics, *Textile Research Journal*, 76(5) (2006) 388-399.
- [35] M. A. Tahir, A. Bouridane, F. Kurugollu, Simultaneous feature selection and feature weighting using Hybrid Tabu Search/K-nearest neighbor classifier, *Pattern Recognition Letters*, 28(4) (2007) 438-446.
- [36] D. Y. Eroglu, K. Kilic, A novel Hybrid Genetic Local Search Algorithm for feature selection and weighting with an application in strategic decision making in innovation management, *Information Sciences*, 405 (2017) 18-32.
- [37] M. R. Alam, R. Togneri, F. Sohel, M. Bennamoun, I. Naseem, Linear regression-based classifier for audio visual person identification, In 2013 1st International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA) IEEE, (1-5) (2013).
- [38] P. Bühlmann, B. Yu, Boosting with the L 2 loss: regression and classification, *Journal of the American Statistical Association*, 98(462) (2003) 324-39.
- [39] G. H. John, P. Langley, Estimating continuous distributions in Bayesian classifiers, In Proceedings of the Eleventh conference on Uncertainty in artificial intelligence, (338-345). Morgan Kaufmann Publishers Inc., (1995).
- [40] D. W. Aha, D. Kibler, M. K. Albert, Instance-based learning algorithms, *Machine learning*, 6(1) (1991) 37-66.
- [41] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, I.H. Witten, The WEKA data mining software: an update, *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 11(1) (2009) 10-18.
- [42] M. Gök, Makine öğrenmesi yöntemleri ile akademik başarının tahmin edilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(3) (2017) 139-148.

Reduced Order Extended Kalman Filter based Parameter Estimation for Induction Motor Drives

Rıdvan DEMİR^{1,*}, Murat BARUT²

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, 51245, Merkez/NİĞDE

²Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, 51245, Merkez/NİĞDE

Graphical/Tabular Abstract

In this study, a speed-sensored reduced-order extended Kalman filter (RO-EKF) based estimator is designed for direct vector control system of induction motors (IMs). The rotor resistance, stator resistance, and magnetizing inductance are simultaneously estimated by the designed estimator. The proposed estimator is tested by simulations for a wide speed range. The proposed estimation algorithm is known as the first RO-EKF algorithm in the literature which estimates the stator resistance, rotor resistance, and magnetizing inductance simultaneously.

Article Info:

Received: 27/03/2019

Revision: 13/06/2019

Accepted: 06/08/2019

Highlights

- Direct vector control based IM drives.
- Estimation of rotor resistance, stator resistance, and magnetizing inductance with RO-EKF.

Keywords

Induction motors
RO-EKF
Parameter estimation
Vector Control

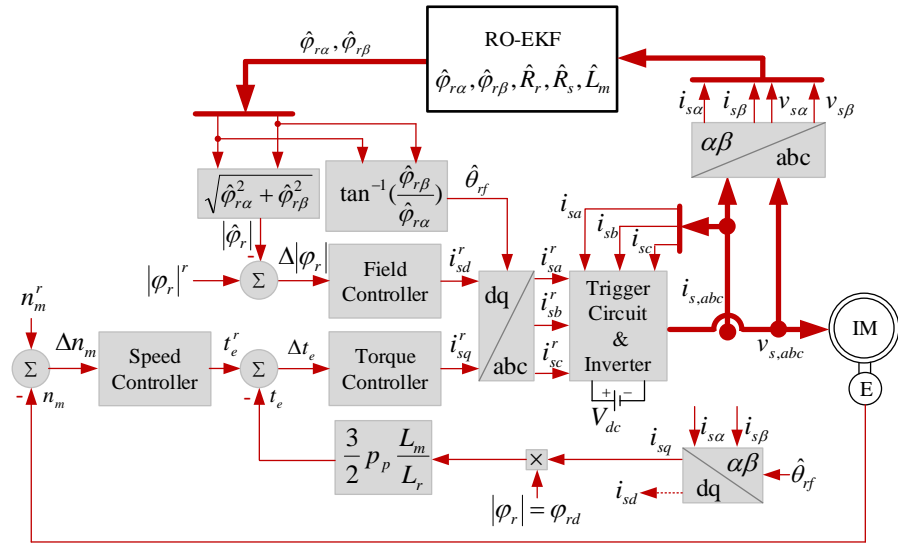


Figure A. Block schema of the direct vector controlled induction motor drive

Purpose: The aim of this study is to introduce a direct vector control based high-performance IM driver which uses RO-EKF algorithm for state and parameter estimation.

Theory and Methods: IMs have parameters which vary the operating conditions such as temperature, frequency, and voltage level. Thus variations of these parameters make control performances of IM difficult. To overcome these disadvantages, an RO-EKF estimating the stator resistance, rotor resistance, magnetizing inductance, and rotor flux in a wide speed range including very low/zero-speed and field-weakening zone is designed.

Results: Simulation results show that the proposed estimation algorithm and thus the speed-sensored direct vector control based induction motor drive utilizing the designed estimation algorithm are quite satisfactory.

Conclusion: In this study, a new state and parameter estimator is presented for the IM drives using the speed-sensored RO-EKF algorithm. The proposed estimation algorithm is tested with simulations in a wide speed range with step and ramp changes of rotor resistance, stator resistance, magnetization inductance, and load torque. The simulation results verify that the proposed estimation algorithm and the speed-sensored DVC system using the proposed estimation algorithm are quite satisfactory.



Asenkron Motor Sürücüleri için İndirgenmiş Dereceli Genişletilmiş Kalman Filtresi Tabanlı Parametre Kestirimi

Rıdvan DEMİR^{1,*} Murat BARUT²

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 51245, Merkez/NİĞDE

² Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 51245, Merkez/NİĞDE

Öz

Bu çalışmada asenkron motorların doğrudan vektör kontrol sistemi için hız-algılayıcı indirgenmiş dereceli genişletilmiş Kalman filtresi (İD-GKF) tabanlı kestirici tasarlanmıştır. Tasarlanan kestirici ile rotor direnci, stator direnci ve mıknatıslama endüktansı eş-zamanlı olarak kestirilmektedir. Önerilen kestirici, sıfır hız ve alan zayıflama bölgesini de kapsayan geniş bir hız aralığında üretilen hız, rotor direnci, stator direnci, mıknatıslama endüktansı ve yük momentinin zorlayıcı değişimleri ile benzetim ortamında test edilmektedir. Önerilen kestirim algoritması ve bu algoritmayı kullanan hız-algılayıcı doğrudan vektör kontrol sisteminden elde edilen benzetim sonuçları oldukça yüksek başarıma sahiptir. Ayrıca önerilen kestirim algoritması stator direnci, rotor direnci ve mıknatıslama endüktansını eş-zamanlı olarak kestiren ilk İD-GKF algoritması olarak bilinmektedir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 27/03/2019

Düzeltilme: 13/06/2019

Kabul: 06/08/2019

Anahtar Kelimeler

Asenkron motorlar

İD-GKF

Parametre kestirimi

Vektör kontrol

Reduced Order Extended Kalman Filter based Parameter Estimation for Induction Motor Drives

Abstract

In this study, a speed-sensored reduced-order extended Kalman filter (RO-EKF) based estimator is designed for direct vector control system of induction motors. The rotor resistance, stator resistance, and magnetizing inductance are simultaneously estimated by the designed estimator. The proposed estimator is tested by simulations for a wide speed range including very low/zero-speed and field-weakening zone, under the variations in rotor angular velocity, load torque, rotor resistance, stator resistance, and mutual inductance changes. Simulation results obtained from the proposed estimation algorithm and the speed-sensored direct vector control based induction motor drive utilizing the designed estimation algorithm are quite satisfactory. Also, the proposed estimation algorithm is known as the first RO-EKF algorithm in the literature which estimates the stator resistance, rotor resistance, and magnetizing inductance simultaneously.

Keywords

Induction motors

RO-EKF

Parameter estimation

Vector Control

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Asenkron motorlar (ASM'ler) değişken hız/moment kontrolüne gereksinim duyan endüstriyel tahrik sistemlerinde düşük maliyet, dayanıklılık ve güvenilirlik gibi karakteristik özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. ASM'lerin doğrusal olmayan matematiksel modele ve sıcaklık, frekans, gerilim seviyesi gibi çalışma koşullarına göre değişen parametrelere sahip olması kontrol başarımlarını zorlaştırmaktadır. Diğer taraftan ASM'lerin yüksek başarılı sürücü uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılmaları vektör kontrol yöntemleri ile sağlanmaktadır [1]. Hız-algılayıcı doğrudan vektör kontrol (DVK) sistemi stator duran eksenindeki rotor akısı bileşenlerinin ($\varphi_{r\alpha}$ ve $\varphi_{r\beta}$ 'nin) kestirilmesine ihtiyaç duymaktadır. ASM sürücülerinin sıfır hız ile anma hız bölgesinin üzerindeki yüksek hız bölgesini de (alan zayıflama bölgesini de) içeren geniş bir hız aralığında yüksek kontrol başarımlarına sahip olmaları doğru akı bilgisini gerektirmektedir [2]. Doğru akı kestirimi için, değerleri çalışma koşulları ile değişen stator direnci (R_s), rotor direnci (R_r) ve mıknatıslama endüktansının (L_m 'nin) kestirilmesi ve kestirim algoritmasına

geniş bir hız aralığında güncellenmesi gerekmektedir. ASM'lerin değişen bu parametreler ile birlikte kontrolü için gerekli akı gibi durumların kestirimini gerçekleştirmek üzere literatürde yeni yöntemlerinin geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir.

ASM sürücülerinin performansı, kestirim yöntemlerinin başarımından doğrudan etkilendiği için modele uyarlamalı sistem (MUS) [3], yapay sinir ağları (YSA) [4], genişletilmiş Luenberger gözlemleyicisi [5] ve genişletilmiş Kalman filtresi (GKF) [6-8] gibi farklı kestirim yöntemleri önerilmiştir.

Son yıllarda R_r , R_s ve/veya L_m gibi ASM'ye ait parametrelerin kestirimine odaklanan çalışmalardan Comanescu (2017)'de [9] rotor zaman sabiti kestirimi MUS ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca anma değerinin %60, %80 ve %100'ü gibi farklı L_m değerleri için yapılan testler ile doğru L_m değerinin kestirim başarımı üzerinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir. Yang vd. (2017)'de [10] ise R_r ve L_m kestirimi rotor akılı MUS ile gerçekleştirilmiştir. Ancak kestirim sonuçları alan zayıflama bölgesine ilişkin başarımı içermemektedir. Arunachalam vd. (2016)'da [11] düşük hız bölgesinde YSA tabanlı MUS ile R_r kestirimi yapılmaktadır. Guo vd. (2018)'de [12] uyarlanabilir tam dereceli kayma kipli gözlemleyici kullanılarak R_r ve R_s kestirimi gerçekleştirilmiştir. Jo ve Choi (2018)'de [13] MUS ve özyinelemeli en küçük kareler (recursive least squarer-(RLS)) algoritmaları kullanılarak hem geçici hem de sürekli halde etkili R_r ve L_m kestirimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Liu vd. (2018)'de [14] rotor akılı MUS ve reaktif güç tabanlı kestirici ile L_m kestirimi gerçekleştirilmiştir.

Literatürdeki diğer yöntemlerden farklı olarak ASM modelindeki belirsizlikleri dikkate alarak durum ve parametre kestiriminde kullanılan GKF'ler, sistem ve ölçüm gürültülerinin sebep olduğu doğal uyarımı kullanabilmektedir [15]. GKF'ler, tam dereceli ve indirgenmiş dereceli olarak tasarlanabilmektedir. Geleneksel tam dereceli GKF'ye (TD-GKF'ye) kıyasla daha az işlem yükü gerektiren indirgenmiş dereceli GKF (İD-GKF) genellikle yüksek işlem yüküne sahip karmaşık kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır [7].

ASM'lerin durum ve parametre kestirimi için GKF algoritmasını kullanan çalışmalar incelendiğinde, Demir vd. (2017a)'da [16] stator akısı tabanlı ASM modeli kullanan TD-GKF ile R_s ve R_r kestirimi, Demir vd. (2017b)'de [17] rotor akılı ASM modeli kullanan İD-GKF ile R_r ve L_m kestirimleri benzetim ortamında sunulmaktadır. Ayrıca, Ref. [17] ile verilen çalışmada kestirilen durum ve parametrelere ilişkin gerçek zamanlı sonuçlar [18]'de verilmiştir. İnan vd. 2018'de [19] ise çevrimiçi mıknatıslama endüktansı kestiricisi ve TD-GKF algoritmasının eş-zamanlı çalıştırılması ile oluşturulan "karma kestirim algoritması" ile R_s , R_r ve L_m 'nin eş zamanlı kestirimi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın temel katkısı durum ve parametre kestirimleri için İD-GKF algoritmasını kullanan DVK tabanlı yüksek kontrol başarımına sahip bir ASM sürücüsünü literatüre tanıtmaktır. Bu amaç doğrultusunda tasarlanan İD-GKF ile ölçülen akım, gerilim ve hız bilgileri kullanılarak $\varphi_{r\alpha}$, $\varphi_{r\beta}$, R_r , R_s ve L_m 'nin eş-zamanlı kestirimi sıfır/çok düşük hız bölgesi ile birlikte alan zayıflama bölgesini de içeren geniş hız aralığında gerçekleştirilmiştir. Farklı hız ve yük momenti değerleri için R_r , R_s ve L_m 'de meydana getirilen değişimler altında test edilen İD-GKF algoritması ve bu algoritmayı kullanan DVK'lı sürücü sisteminden elde edilen benzetim sonuçları, önerilen kestirim algoritmasına ait kontrol başarımının oldukça iyi olduğunu göstermektedir.

2. ASENKRON MOTORLARIN DİNAMİK MODELİ (DYNAMIC MODEL OF INDUCTION MOTORS)

Genel ifadesi Denklem 1 ve 2 ile verilen ASM'lere ait genişletilmiş dinamik model rotor ya da stator akılı olarak edilebilmektedir. Bu çalışmada $\varphi_{r\alpha}$, $\varphi_{r\beta}$, R_r , R_s ve L_m 'nin eş-zamanlı kestirimini gerçekleştirmek için tasarlanan İD-GKF algoritması rotor akılı ASM modelini kullanmaktadır.

$$\dot{\mathbf{x}}_g = \mathbf{f}_g(\mathbf{x}_g, \mathbf{u}_g) + \mathbf{w}_g$$

$$= \mathbf{A}_g(\mathbf{x}_g)\mathbf{x}_g + \mathbf{B}_g\mathbf{u}_g + \mathbf{w}_g$$

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_g &= \mathbf{h}_g(\mathbf{x}_g) + \mathbf{v}_g \text{ (ölçme eşitliği)} \\ &= \mathbf{H}_g \mathbf{x}_g + \mathbf{v}_g \end{aligned} \quad 2$$

Denklem 1 ve 2 ile verilen ASM'ye ait genişletilmiş dinamik modeldeki matris ve vektörler aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \dot{i}_{s\alpha} \\ \dot{i}_{s\beta} \\ \dot{\varphi}_{r\alpha} \\ \dot{\varphi}_{r\beta} \\ \dot{R}_r \\ \dot{R}_s \\ \dot{L}_m \end{bmatrix}}_{\dot{\mathbf{x}}_g} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{-L_m^2 R_r}{L_r^2 L_\sigma} - \frac{R_s}{L_\sigma} & 0 & \frac{L_m R_r}{L_r^2 L_\sigma} & \frac{L_m p_p \omega_m}{L_r L_\sigma} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-L_m^2 R_r}{L_r^2 L_\sigma} - \frac{R_s}{L_\sigma} & \frac{-L_m p_p \omega_m}{L_r L_\sigma} & \frac{L_m R_r}{L_r^2 L_\sigma} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{R_r}{L_r} L_m & 0 & \frac{-R_r}{L_r} & -p_p \omega_m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R_r}{L_r} L_m & p_p \omega_m & \frac{-R_r}{L_r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}_g} \underbrace{\begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \varphi_{r\alpha} \\ \varphi_{r\beta} \\ R_s \\ R_r \\ L_m \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}_g} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{1}{L_\sigma} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_\sigma} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}_g} \underbrace{\begin{bmatrix} v_{s\alpha} \\ v_{s\beta} \end{bmatrix}}_{\mathbf{u}_g} + \mathbf{w}_g \quad 3$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix}}_{\mathbf{z}_g} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}_g} \mathbf{x}_g + \mathbf{v}_g \quad 4$$

Bu çalışmada, ASM'ye ait ölçülmeyen durum ($\varphi_{r\alpha}$ ve $\varphi_{r\beta}$) ve parametrelerin (R_r , R_s ve L_m 'nin) eş-zamanlı kestirimi genel ifadeleri Denklem 5 ve 6 ile verilen indirgenmiş dereceli rotor akılı ASM modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}_i &= \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{u}_i) + \mathbf{w}_i \\ &= \mathbf{A}_i(\mathbf{x}_i) \mathbf{x}_i + \mathbf{B}_i \mathbf{u}_i + \mathbf{w}_i \end{aligned} \quad 5$$

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_i &= \mathbf{h}_i(\mathbf{x}_i) + \mathbf{v}_i \text{ (ölçme eşitliği)} \\ &= \mathbf{H}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{v}_i \end{aligned} \quad 6$$

Denklem 5 ve 6 ile verilen indirgenmiş dereceli ASM modelindeki matris ve vektörler Denklem 7 ve 8'deki gibi tanımlanabilir;

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \dot{\varphi}_{r\alpha} \\ \dot{\varphi}_{r\beta} \\ \dot{R}_r \\ \dot{R}_s \\ \dot{L}_m \end{bmatrix}}_{\dot{\mathbf{x}}_i} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{-R_r}{L_r} & -p_p \omega_m & \frac{L_m i_{s\alpha}}{L_r} & 0 & 0 \\ p_p \omega_m & \frac{-R_r}{L_r} & \frac{L_m i_{s\beta}}{L_r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}_i} \underbrace{\begin{bmatrix} \varphi_{r\alpha} \\ \varphi_{r\beta} \\ R_r \\ R_s \\ L_m \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}_i} + \mathbf{w}_i \quad 7$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix}}_{\mathbf{z}_i} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{R_r L_m}{L_r^2 L_\sigma} & \frac{L_m p_p \omega_m}{L_\sigma L_r} & \frac{L_m^2 i_{s\alpha}}{L_r^2 L_\sigma} & \frac{-i_{s\alpha}}{L_\sigma} & 0 \\ -\frac{L_m p_p \omega_m}{L_\sigma L_r} & \frac{R_r L_m}{L_r^2 L_\sigma} & \frac{L_m^2 i_{s\beta}}{L_r^2 L_\sigma} & \frac{-i_{s\beta}}{L_\sigma} & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}_i} \mathbf{x}_i + \begin{bmatrix} \frac{v_{s\alpha}}{L_\sigma} \\ \frac{v_{s\beta}}{L_\sigma} \end{bmatrix} + \mathbf{v}_i \quad 8$$

Genişletilmiş ve indirgenmiş modele ait ifadelerde yer alan değişkenlerden \mathbf{x} , dinamik modellere ait durum vektörü; \mathbf{f} , durum ve girişlerin doğrusal olmayan fonksiyonu; \mathbf{u} , kontrol giriş vektörü; \mathbf{A} ve \mathbf{B} , sırası ile sistem ve giriş matrisi; \mathbf{w} , sistem gürültüsü; \mathbf{h} , çıkışların fonksiyonu; \mathbf{H} , ölçme matrisi ve son olarak \mathbf{v} , ölçme gürültüsüdür. Ayrıca, $v_{s\alpha}$, $v_{s\beta}$, $i_{s\alpha}$ ve $i_{s\beta}$, stator duran eksen takımındaki stator gerilim ve akımlarının bileşenlerini; R_r ve R_s rotor ve stator dirençlerini; L_r , L_s ve L_m ise rotor, stator ve mıknatıslama endüktanslarını; $L_\sigma = \sigma L_s = L_s - L_m^2/L_r$, stator geçici endüktansını; σ , kaçak faktörünü; p_p ise kutup çifti sayısını ifade etmektedir.

3. İD-GKF ALGORİTMASI (RO-EKF ALGORITHM)

Bu çalışma kapsamında önerilen DVK'lı ASM sürücüsü $\varphi_{r\alpha}$, $\varphi_{r\beta}$, R_r , R_s ve L_m 'nin eş-zamanlı kestirimi için genel ifadeleri Denklem 9-15 ile verilen İD-GKF algoritmasını kullanmaktadır.

- *Doğrusallaştırma adımı*

$$\mathbf{F}_{k+1|k} = \frac{\partial \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{u}_i)}{\partial \mathbf{x}_i} \Big|_{\mathbf{x}_i = \hat{\mathbf{x}}_{i,k+1}} \quad 9$$

$$\mathbf{H}_{k+1|k} = \frac{\partial \mathbf{h}_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{u}_i)}{\partial \mathbf{x}_i} \Big|_{\mathbf{x}_i = \hat{\mathbf{x}}_{i,k+1}} \quad 10$$

- *Zaman güncellemesi adımı*

$$\hat{\mathbf{x}}_{i,k+1} = \mathbf{f}_i(\hat{\mathbf{x}}_{i,k}, \mathbf{u}_{i,k+1}) \quad 11$$

$$\mathbf{P}_{k+1}^- = \mathbf{F}_{k+1} \mathbf{P}_k \mathbf{F}_{k+1}^T + \mathbf{Q} \quad 12$$

- *Ölçüm güncellemesi adımı*

$$\mathbf{K}_{k+1} = \mathbf{P}_{k+1}^- \mathbf{H}_{k+1}^T [\mathbf{H}_{k+1} \mathbf{P}_{k+1}^- \mathbf{H}_{k+1}^T + \mathbf{R}]^{-1} \quad 13$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{i,k+1} = \hat{\mathbf{x}}_{i,k+1}^- + \mathbf{K}_{k+1} (\mathbf{z}_{k+1} - \mathbf{H}_{k+1} \hat{\mathbf{x}}_{i,k+1}^-) \quad 14$$

$$\hat{\mathbf{P}}_{k+1} = \mathbf{P}_{k+1}^- - \mathbf{K}_{k+1} \mathbf{H}_{k+1} \mathbf{P}_{k+1}^- \quad 15$$

Burada, \mathbf{F} ve \mathbf{H} doğrusal olmayan modeli ve ölçüm eşitliğini doğrusallaştırmak için kullanılan fonksiyonları; \mathbf{K} , Kalman kazancını; \mathbf{P} , kestirilen durum ve parametre hatalarının kovaryans matrisini; \mathbf{Q} ve \mathbf{R} ise sırası ile modelleme hatası olarak adlandırılan sistem gürültü matrisinin ve ölçüm hatası olarak adlandırılan çıkış gürültü matrisinin kovaryanslarını ifade etmektedir.

4. BENZETİM SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR (SIMULATION RESULTS AND DISCUSSIONS)

Önerilen İD-GKF algoritmasının kestirim başarımı anma değerleri Tablo 1'de verilen ASM parametreleri ve Şekil 1'de verilen DVK tabanlı ASM sürücü sistemi kullanılarak geniş bir hız aralığında test edilmektedir. DVK tabanlı ASM sürücü sistemindeki kontrolörlerin tamamı geleneksel PI (oran + integral alıcı - (proportional + integral)) kontrolördür. θ_{rf} ise stator duran ekseninin α -bileşeni ile dönen eksenin d -bileşeni arasındaki alan açısıdır. Ayrıca, alan, hız ve moment kontrolörlerine ait alt bloklar ve PI katsayıları Şekil 2'de sunulmaktadır. Şekil 2a-c'de verilen PI katsayıları arzu edilen geçici ve sürekli hal başarımları dikkate alınarak deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir.

- Sıfır, anma hızı ve alan zayıflama bölgelerinde yük momenti ve parametre değişimlerine karşı İD-GKF'nin başarımı

Bu senaryolar ile test edilen ASM sürücüsünden yüksek kontrol başarımı elde etmek için durum ve parametre kestiriminde kullanılan İD-GKF tabanlı kestiricinin deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen kovaryans matrisleri (\mathbf{Q} , \mathbf{R} , \mathbf{P}_0) aşağıda verilmiştir.

$$\mathbf{Q} = \text{diag}\{10^{-7} \ 10^{-7} \ 10^{-2} \ 10^{-2} \ 10^{-4}\}$$

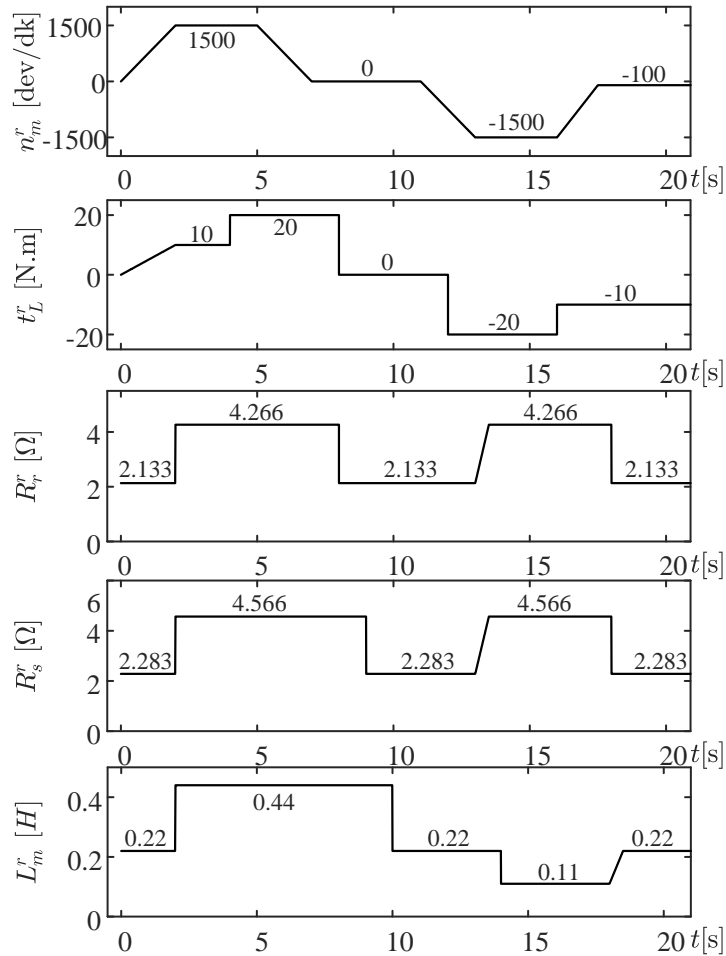
$$\mathbf{R} = \text{diag}\{10^{-8} \ 10^{-8}\}$$

$$\mathbf{P}_0 = \text{diag}\{10 \ 10 \ 10 \ 10 \ 10\}$$

İD-GKF tabanlı kestiriciye ait benzetim sonuçları $100\mu\text{s}$ örnekleme zamanı ile *Matlab Simulink* ortamında "ode1 (Euler)" çözüm metodu kullanılarak elde edilmiştir. Önerilen İD-GKF algoritması ile kestirilen $\varphi_{r\alpha}$, $\varphi_{r\beta}$, R_r , R_s ve L_m 'nin başlangıç değerleri sıfır olarak seçilmiştir.

4.1 Senaryo-I: Anma ve sıfır/çok düşük hız bölgelerinde yük momenti ve parametre değişimlerine karşı İD-GKF'nin başarımı (Scenario-I: Performance of RO-EKF against the load torque and parameter changes in rated, and zero / very low-speed regions)

Önerilen kestirim algoritması ve bu algoritmayı kullanan DVK'lı ASM sürücü sisteminin kontrol başarımı Şekil 3'te verilen n_m , t_L , R_r , R_s ve L_m referans değişimleri altında üretilen senaryo ile test edilmektedir.

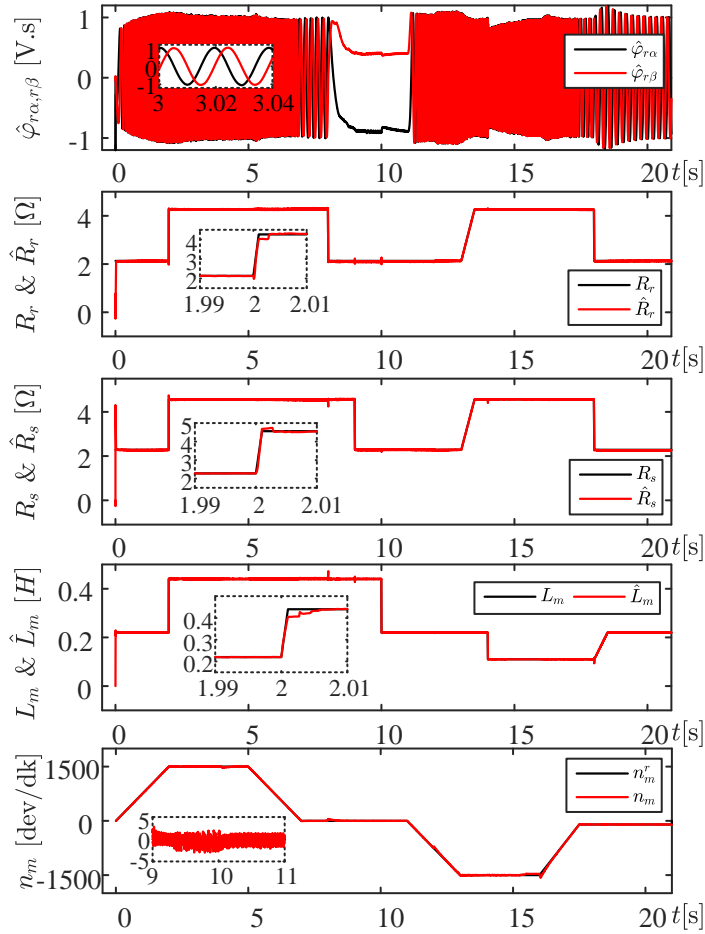


Şekil 3. İD-GKF temelli doğrudan vektör kontrollü ASM sürücü sistemini test etmek için üretilen referans değişimler (Senaryo-I)

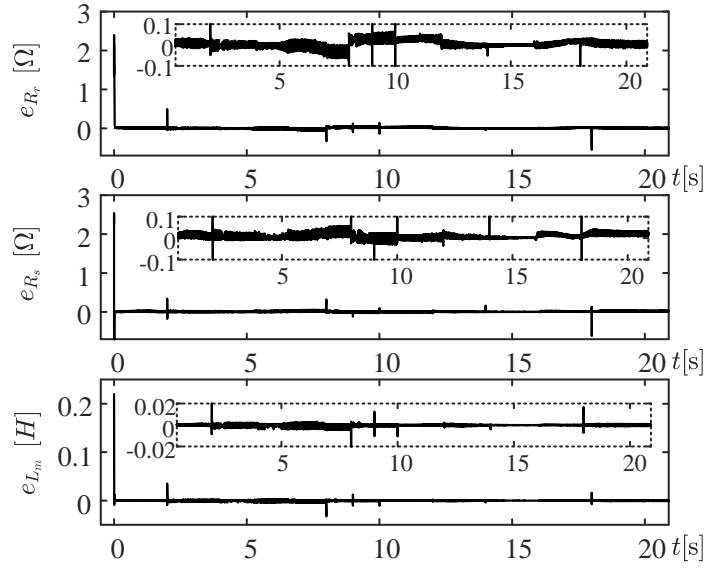
Bu senaryoda;

- ASM sürekli sıfır hız, çok düşük hız (anma hızın %6.67'si) ve anma hızını da içeren geniş bir hız aralığında sürülmektedir.
- ASM'ye geniş bir hız aralığında değeri 20 Nm ve -20 Nm arasında değiştirilen yük momentini uygulanmaktadır.
- Farklı hız ve yük moment değeri için R_r , R_s ve L_m doğrusal ve/veya basamak şeklinde değiştirilmektedir.

Başarımı, Şekil 3'te verilen referanslar ile test edilen İD-GKF ve bu algoritmayı kullanan DVK'lı ASM sürücüsünden elde edilen benzetim sonuçları Şekil 4 ve 5 ile verilmiştir. Şekil 4'te verilen benzetim sonuçlarında " $\hat{\cdot}$ " kestirilen durum ve parametreleri, Şekil 5'te verilen benzetim sonuçlarında ise $e(\cdot)$ gerçek değer ile kestirilen değer arasındaki hatayı ifade etmektedir.



Şekil 4. Doğrudan vektör kontrollü ASM sürücüsü ve İD-GKF tabanlı durum ve parametre kestiricisine ait benzetim sonuçları (Senaryo-1)



Şekil 5. Doğrudan vektör kontrollü ASM sürücüsü ve İD-GKF tabanlı durum ve parametre kestiricisine ait izleme ve kestirim hataları (Senaryo-I)

4.2 Senaryo-II: Sıfır, anma hızı ve alan zayıflama bölgelerinde yük momenti ve parametre değişimlerine karşı İD-GKF'nin başarımı (Scenario-II: Performance of RO-EKF against the load torque and parameter changes in zero speed, rated speed, and field weakening regions)

Alan zayıflama bölgesinde artan hız referansına (n_m^r 'ye) bağlı olarak gerilim sınırlamasından dolayı zayıflayan akı referansının ($|\varphi_r|^r$ 'nin) değişimine ait matematiksel ifade Denklem 16'da, akı referansının zayıflaması ile birlikte mıknatıslama endüktansının doğal olarak değişimi Denklem 17'de verilmiştir [2].

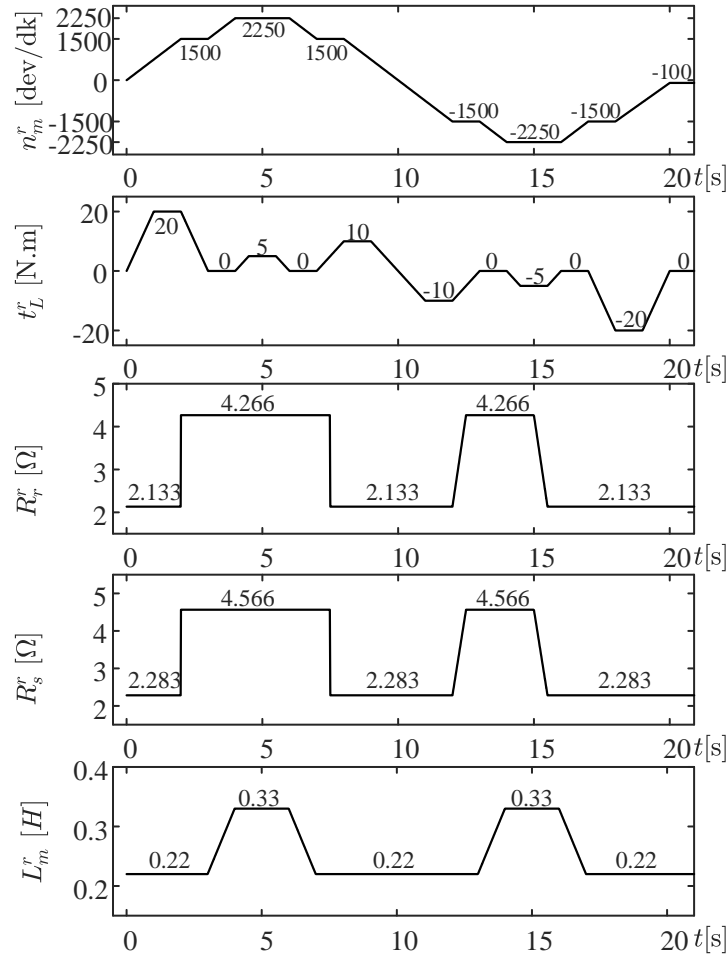
$$|\varphi_r|^r = \begin{cases} \frac{n_a}{n_m^r} |\varphi_r|^a & , \quad n_m^r > n_a \\ 1 & , \quad n_m^r \leq n_a \end{cases} \quad 16$$

$$L_m^r = \begin{cases} \frac{|\varphi_r|^a}{|\varphi_r|^r} L_{mn} & , \quad n_m^r > n_a \\ L_{mn} & , \quad n_m^r \leq n_a \end{cases} \quad 17$$

Burada n_a ASM'nin anma hızını, n_m^r DVK tabanlı ASM sürücüsüne uygulanan referans hızı, $|\varphi_r|^a$ akı referansının anma değerini, L_m^r alan zayıflama bölgesinde akı seviyesi ile doğal olarak değişen mıknatıslama endüktansını ifade etmektedir.

Önerilen kestirici Şekil 6'da verilen n_m , R_r , L_m ve t_L 'nin değişimleri ile test edilmektedir. n_m , R_r , L_m ve t_L 'nin değişimlerine ait Şekil 6'da verilen referanslar altında kestirim algoritmasını ve bu algoritmayı kullanan DVK'lı ASM sürücü sistemini test etmek için üretilen bu senaryoda ise,

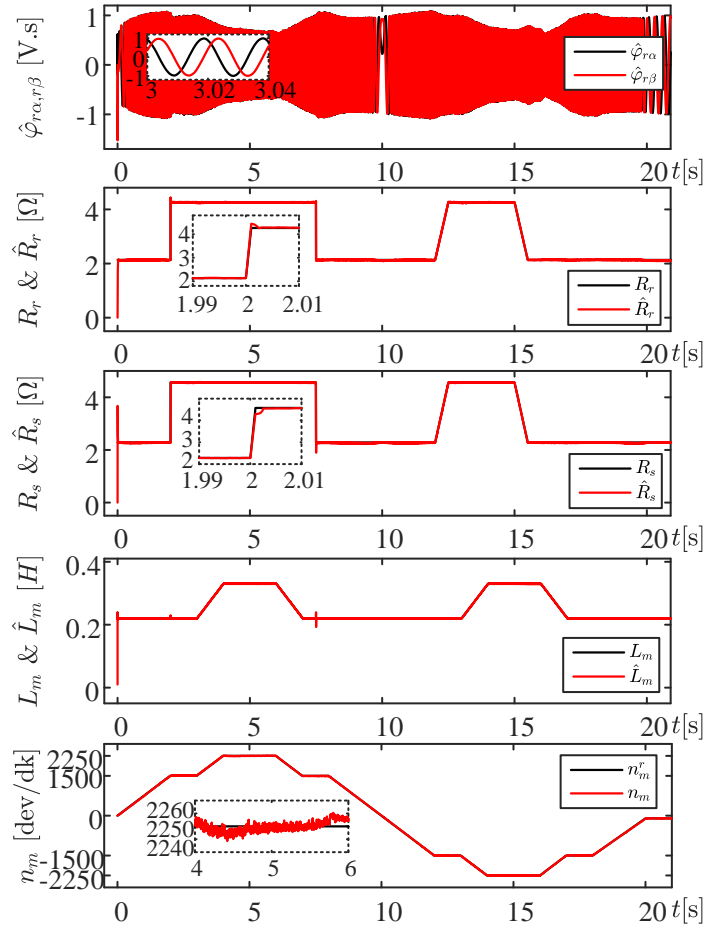
- ASM çok düşük hız ile birlikte alan zayıflama bölgesini (anma hızın %150'sini) de içeren geniş hız aralığında sürülmektedir.
- ASM'ye geniş bir hız aralığında değeri 20 Nm ve -20 Nm arasında değiştirilen yük momenti uygulanmaktadır.
- Farklı hız ve yük momenti değerleri altında R_r ve R_s doğrusal ve/veya basamak şeklinde anma değerleri ve iki katı arasında değiştirilmektedir.
- L_m değeri ise alan zayıflama bölgesinde rotor akısında meydana gelen azalma ile birlikte Denklem 17'ye göre doğal olarak artırılmaktadır.



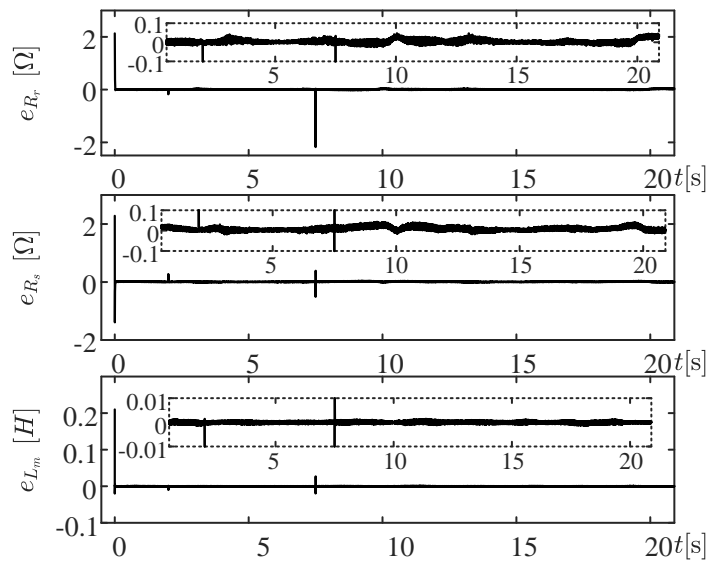
Şekil 6. İD-GKF temelli doğrudan vektör kontrollü ASM sürücü sistemini test etmek için üretilen referans değişimler (Senaryo-II)

Şekil 4-5 ve Şekil 7-8’de verilen benzetim sonuçları incelendiğinde aşağıdaki gözlemler yapılabilir:

- Başlangıç koşulları sıfır olarak seçilen kestirimlerin tamamı ($\varphi_{r\alpha}$, $\varphi_{r\beta}$, R_r , R_s ve L_m) referans değerine kısa süre içerisinde yakınsamaktadır.
- Şekil 4 ve 5’te ile verilen benzetim sonuçlarında, $t = 2$.s’de basamak şeklinde ve eş-zamanlı olarak R_r , R_s ve L_m anma değerlerinin iki katına çıkartılarak İD-GKF algoritmasının kestirim başarımı zorlanmıştır. Bu zorlayıcı değişime rağmen kestirimler çok kısa süre içerisinde referans değerine yakınsamaktadır.
- Şekil 4’te görülen $8s \leq t \leq 11s$ aralığında sıfır hız ve sıfır yük momenti çalışmasından dolayı ASM’lerin durum ve parametre kestirimi için en kötü senaryo olan doğru akım koşulu [20] oluşturulmuştur. Buna rağmen önerilen İD-GKF algoritması en zorlu bu senaryoda durum ve parametre kestirimlerini gerçekleştirmektedir.
- Şekil 7’de verilen benzetim sonuçlarında ise İD-GKF algoritmasının kestirim başarımını göstermek için hem anma hızında hem de alan zayıflama bölgesinde parametre ve yük momenti değişimleri oluşturulmuştur. Bu değişimlere karşı önerilen kestirim algoritması yüksek kestirim başarımı göstermektedir.
- İnan vd. 2018’de [19] sunulan çalışmada R_r , R_s TD-GKF ile kestirirken L_m ’nin kestirimi çevrimiçi kestirici ile kestirilmiştir. Bu çalışmada önerilen kestirici ise [19]’dan farklı olarak R_r , R_s ve L_m ’nin eş-zamanlı kestirimini tek bir İD-GKF algoritması kullanarak kestirmektedir.



Şekil 7. Doğrudan vektör kontrollü ASM sürücüsü ve İD-GKF tabanlı durum ve parametre kestiricisine ait benzetim sonuçları (Senaryo-II)



Şekil 8. Doğrudan vektör kontrollü ASM sürücüsü ve İD-GKF tabanlı durum ve parametre kestiricisine ait izleme ve kestirim hataları (Senaryo-II)

Özetle, önerilen kesirim algoritması ile hız-algılayıcılı DVK tabanlı ASM sürücüsü için gerekli olan $\varphi_{r\alpha}$ ve $\varphi_{r\beta}$ durumları ile birlikte R_r , R_s ve L_m parametreleri benzetim ortamında yüksek bir doğrulukla kestirilebilmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS) SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR (SIMULATION RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, ASM sürücüleri için hız-algılayıcılı İD-GKF algoritması kullanılarak yeni bir durum ve parametre kestiricisi tasarlanmıştır. Tasarlanan kestirici hız-algılayıcılı DVK sistemleri için gerekli olan $\varphi_{r\alpha}$ ve $\varphi_{r\beta}$ ile birlikte ASM'nin çalışma koşulları (sıcaklık, frekans ve gerilim seviyesi) ile değerleri değişebilen R_r , R_s ve L_m 'nin eş-zamanlı kestirimini geniş bir hız aralığı için sadece İD-GKF algoritması kullanarak benzetim ortamında gerçekleştirmektedir. Önerilen kestirim algoritmasından ve önerilen kestirim algoritmasını kullanan hız-algılayıcılı DVK sisteminden elde edilen benzetim sonuçları oldukça yüksek başarıma sahiptir. Bu çalışma, sadece bir İD-GKF ve bir ASM modeli kullanılarak R_r , R_s ve L_m 'nin eş-zamanlı olarak kestirildiği literatürdeki ilk çalışma olarak bilinmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] P. Vas, Sensorless Vector and Direct Torque Control. Oxford University Press (1998).
- [2] R. Inan, M. Barut, Bi input-extended Kalman filter-based speed-sensorless control of an induction machine~capable of working in the field-weakening region. Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci. 22:3 (2014) 588-604.
- [3] R. Kumar, S. Das, P. Syam, A. K. Chattopadhyay, Review on model reference adaptive system for sensorless vector control of induction motor drives. IET Electr. Power Appl., 9:7 (2015) 496-511.
- [4] M. Wlas, Z. Krzeminski, H.A. Toliyat, Neural-Network-Based Parameter Estimations of Induction Motors. IEEE Trans. Ind. Electron., 55:4 (2008) 1783-1794.
- [5] B. L. G. Costa, B. A. Angélico, A. Goedtel, M. F. Castoldi, C. L. Graciola, Differential Evolution Applied to DTC Drive for Three-Phase Induction Motors Using an Adaptive State Observer. J. Control Autom. Electr. Syst., 26:4 (2015) 403-420.
- [6] F. Auger, M. Hilaret, J. M. Guerrero, E. Monmasson, T. Orłowska-Kowalska, S. Katsura, Industrial Applications of the Kalman Filter: A Review. IEEE Trans. Ind. Electron., 60:12 (2013) 5458-5471.
- [7] I. M. Alsofyani, N. R. N. Idris, Simple Flux Regulation for Improving State Estimation at Very Low and Zero Speed of a Speed Sensorless Direct Torque Control of an Induction Motor. IEEE Trans. Power Electron., 31:4 (2016) 3027-3035.
- [8] E. Zerdali, Genişletilmiş Karmaşık Kalman Filtresi Tabanlı Hız-Algılayıcısız Asenkron Motor Sürücüsünün Tasarımı. GU J Sci, Part C, 6:4 (2018) 877-886.
- [9] M. Comanescu, Design of a pseudo-MRAS sliding mode observer with double feedback for estimation of the rotor time constant of the induction motor. 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Toronto, ON, Canada, (2017) 270-275.
- [10] S. Yang, D. Ding, X. Li, Z. Xie, X. Zhang, L. Chang, A Novel Online Parameter Estimation Method for Indirect Field Oriented Induction Motor Drives. IEEE Trans. Energy Convers., 32:4 (2017) 1562-1573.

- [11] V.Arunachalam, H. Srinivasan, A. Muthuramalingam, A novel NN based rotor flux MRAS to overcome low speed problems for rotor resistance estimation in vector controlled IM drives. *Front. Energy*, 10:4 (2016) 382-392. [11] V.Arunachalam, H. Srinivasan, A. Muthuramalingam, A novel NN based rotor flux MRAS to overcome low speed problems for rotor resistance estimation in vector controlled IM drives. *Front. Energy*, 10:4 (2016) 382-392.
- [12] Y. Guo, Z. Li, B. Dai, X. Zhang, X. A full-order sliding mode flux observer with stator and rotor resistance adaptation for induction motor. 2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), San Antonio, TX, USA, (2018) 855-860.
- [13] G.J. Jo, J.W. Choi, A Novel Method for the Identification of the Rotor Resistance and Mutual Inductance of Induction Motors Based on MRAC and RLS Estimation. *J. Power Electron.*, 18:2 (2018) 492–501.
- [14] L. Liu, Y. Guo, J. Wang, Online Identification of Mutual Inductance of Induction Motor without Magnetizing Curve. 2018 Annual American Control Conference (ACC), Milwaukee, WI, USA, (2018), 3293–3297.
- [15] R. Demir, M. Barut, Novel hybrid estimator based on model reference adaptive system and extended Kalman filter for speed-sensorless induction motor control. *Trans. Inst. Meas. Control*, 40:13 (2018) 3884-3898.
- [16] R. Demir, M. Barut, R. Yildiz, R. Inan, E. Zerdali, EKF based rotor and stator resistance estimations for direct torque control of Induction Motors. 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) 2017 Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), Brasov, Romania, (2017) 376-381.
- [17] R. Demir, M. Barut, R. Yildiz, Asenkron Motorların Hız-Algılayıcı Doğrudan Vektör Kontrolü için İndirgenmiş Dereceli Genişletilmiş Kalman Fitresi Tabanlı Parametre Kestirimi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2017)*, Istanbul, Turkey, (2017) 562- 567.
- [18] R. Demir, M. Barut, R. Yildiz, Reduced Order Extended Kalman Filter based Parameter Estimations for speed-sensored Induction Motor Drive. *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, 24:8 (2018) 464–1471.
- [19] R. İnan, R., Demir, M. Barut, ASENKRON MOTORUN KARMA KESTİRİCİ TABANLI HIZ-ALGILAYICILI DOĞRUDAN VEKTÖR KONTROLÜ. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendis. Bilim. Derg.*, 7:2 (2018) 612-623.
- [20] J. Holtz, Sensorless control of induction motors-performance and limitations. *Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2000*, Cholula, Puebla, Mexico, 1 (2000) PL12-PL20.

Effect of External Insulation on Drying Time and Energy Consumption in Food Drying Oven

* Faruk KILIÇ¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 06374, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 27/05/2019

Revision: 27/07/2019

Accepted: 06/08/2019

Highlights

- The effect of insulation in FDO.
- Instant and cumulative electricity consumption in apple drying.

Keywords

FDO insulation
 Energy consumption in FDO
 Apple drying

The effect of glass wool and stone wool insulation on energy consumption and drying time was investigated in the Food Drying Oven (FDO). All experiments were carried out by drying apples at 80 °C. The measurement error is minimized by using the arduino card load cell with microcontroller to reduce errors in weight measurement. Cumulative electricity consumption was 1,287 kWh in glass wool, 1,265 kWh in stone wool and 1,420 kWh in uninsulated. 10,97% energy saving was achieved by insulating.

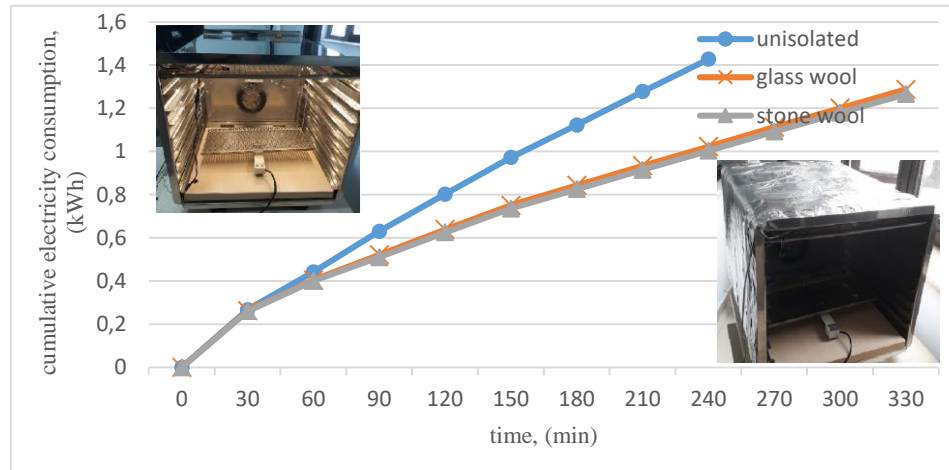


Figure A. Cumulative energy consumption with and without insulation in apple drying

Purpose: The aim of this study is to obtain drying time, instant and cumulative electricity consumption, the Specific Energy Consumption (SEC) and the Specific Moisture Extraction Rate (SMER) of uninsulated-insulated FDO by drying apples.

Theory and Methods: Arduino (uno), which includes drying parameters such as temperature, humidity, weight and time, which is an important data source in the drying process, has printed the signals received from the sensors on the computer screen instantly. The thermostat switches the ambient temperature dependent circuit on and off without using software and controlled the operation of the coincident center synchronous fan-motor duo. Glass wool and stone wool used as insulation material were covered with aluminum foil tape as 2,5 cm in the oven and the system was examined on the basis of the 1st law of thermodynamics.

Results: In the apple drying, the time-dependent weight graph was obtained and the uninsulated test was completed in 240 minutes glass wool and stone wool tests were completed in 330 minutes. Although the experiments with glass wool and stone wool insulation took a long time, it consumed less energy than uninsulated experiments. In apple drying, SMER and SEC were calculated over time.

Conclusion: In this study, the electricity consumption in the uninsulated state has stabilized at 0,15 kWh and glass wool and stone wool at 0,1 kWh. The cumulative electricity consumption of all experiments was 1,420 kWh in uninsulated, 1,287 kWh in glass wool and 1,265 kWh in stone wool. Uninsulated energy consumption saves 10,97% energy compared to insulated. Specific energy consumption in the range of 60-120 minutes in the range of 10 kWh / kgwater watched from the 150th minute in uninsulated and 240th minute in insulated has increased sharply.

GU J Sci, Part C, 7(3): 604-613 (2019)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

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

Gıda Kurutma Fırınında Dış Yalıtımın Kurutma Süresine ve Enerji Tüketimine Etkisi

*Faruk KILIÇ¹¹Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 06374, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Deneyel olarak yapılan çalışmada mikro denetleyici ile yönetilen, daha önceden tasarlanıp imalatı yapılan, Gıda Kurutma Fırınında (GKF) cam yünü ve taş yünü yalıtımının enerji tüketimine ve kurutma süresine etkisi incelenmiştir. Kurutulacak gıda olarak elma seçilmiş ve yalıtımlı-yalıtımsız bulguları karşılaştırabilmek amacı ile deneylerin tamamı 80 °C de yapılmıştır. Ağırlığın ölçümü için fırın dışına çıkartarak ölçüm yapıp tekrar fırın içine alıp kurutmaya devam etmek gibi ölçme cihazı hatalarını azaltmak amacı ile mikrodenetleyici içeren arduino kartı yük hücresi kullanılarak bu ölçüm hatası en aza indirilmiştir. Kurutmada yalıtımsız yapılan deneyler 240 dakika cam yünü ve taş yünü yalıtımı ile yapılan deneyler ise 330 dakika sürmüştür. Yalıtımsız deneylerin ortalama (aritmetik) elektrik tüketimi 0,15 kWh, cam yünü ve taş yünü ortalama (aritmetik) elektrik tüketimi 0,1 kWh değerlerinde seyrettiği görülmüştür. Tüm deneylerin kümülatif elektrik tüketimi cam yününde 1,287 kWh, taş yününde 1,265 kWh ve yalıtımsızda 1,420 kWh olmuştur. Yalıtımlı-yalıtımsız enerji tüketimi karşılaştırıldığında % 10,97 enerji tasarrufu elde edilmiştir. 60-120 dakika aralığında özgül enerji tüketimi (SEC) 10 kWh/kgsu aralığında seyrederek yalıtımsızda 150 dakikadan yalıtımlıda ise 240 dakikadan sonra keskin bir artışa geçmiştir. Özgül nem çekme oranı (SMER) 60-90 dakika aralığında tepe noktasına ulaşmış 0,14-0,16 kgsu/kWh aralığında değerler almıştır. Devamında 180. dakika ya kadar keskin bir azalma elde edilmiştir. 180. dakikadan sonra taş yünü ve cam yünü SMER'i 0,40 kgsu/kWh yakınlarında yalıtımsız deneylerin SMER'i 0,20 yakınlarında değerler almıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 27/05/2019

Düzeltilme: 27/07/2019

Kabul: 06/08/2019

Anahtar Kelimeler

Gıda kurutma fırını yalıtımı

Gıda kurutma fırını enerji tüketimi

Elma kurutma

Keywords

FDO insulation

Energy consumption in FDO

Apple drying

Effect of External Insulation on Drying Time and Energy Consumption in Food Drying Oven

Abstract

In the experimental study, the effect of glasswool and stone wool insulation on energy consumption and drying time in FDO, which was previously designed and manufactured by microcontroller, was investigated. The apple was selected as the food to be dried and all the tests were done at 80 ° C in order to compare the insulated and non-insulated findings. This measurement error is minimized by using an arduino card load cell with microcontroller to reduce measurement device errors, such as measuring the weight, taking it out of the oven and taking it back into the oven and continuing to dry. The experiments carried out without insulation in the drying period lasted 240 minutes, while the glass wool and stone wool insulation tests lasted for 330 minutes. The average (arithmetic) electricity consumption of the uninsulated experiments was 0.15 kWh and the average (arithmetic) electricity consumption of glass wool and stone wool was 0.1 kWh. The cumulative electricity consumption of all experiments was 1,287 kWh in glass wool, 1,265 kWh in stone wool and 1,420 kWh in uninsulated. Compared to uninsulated and uninsulated energy consumption, 10,97% energy savings were achieved. Specific Energy Consumption (SEC) in the range of 60-120 minutes has been observed in the range of 10 kWh / kgwater and has increased sharply after 150th minute in uninsulated and 240th minute in insulated. 60-120. The Specific Moisture Extraction Rate (SMER) reached its peak in the range of 60-90 minutes and received values in the range of 0.14-0.16 kg / kWh. Thereafter, a sharp reduction of up to 180 minutes was obtained. After 180 minutes, SMER of stone wool and glass wool was found to be 0,4 kg water / kWh.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations) öngörülerine bakıldığında 2017 yılında Dünyada 4933841 hektar alana ekili olan elmadan 83139326 ton ürün alınacağı beyan edilmiştir. Bu verilere bakılırsa 168508 hektogram/hektar verim alınmıştır [1]. 2017 Türkiye verileri ise 175357 hektar alana ekili olan elmadan 3032164 ton ürün alınacağı tahmin edilmiştir. Türkiye, Dünya üretiminde % 3,64 lük bir kapasiteye sahip durumdadır. FAO verilerine göre 172914 hektogram/hektar verim hesaplanmıştır. Bu değer Dünya ortalama veriminin iki katından daha fazlasıdır [1].

Türkiyenin sadece elma için sahip olduğu potansiyeli diğer gıdalar içinde düşünecek olursak bu gıdaların mahsul dönemi içinde ucuza satmak zorunda kalan üretici için büyük bir potansiyel olan kurutmanın önemi daha iyi anlaşılacaktır. Gıda kurutma, gıda bünyesindeki su oranını %75-95 oranlarından %10-20 oranlarına düşürme olarak tanımlanmıştır [2]. Artan gıda tüketimi göz önünde bulundurulduğunda gıda teminini sağlayan başlıca unsurlardan biridir. Dondurarak veya konserve ederek saklamaya göre değerlendirdiğimizde daha fazla kullanılan bir yöntem olduğu bilinmektedir [3]. Kurutma, ürünlerin nem içeriğini azaltmakla beraber, enzimatik aktivite, hoş koku ve en önemlisi de antioksidan kapasite gibi fiziksel ve biyolojik yapıyı değiştirir [4]. Gıda, kurutma teknikleri sayesinde mevsim dışında da kullanılabilir [5]. Variyenli ve ark. farklı tipte (sandık, kutu ve salyangoz tipi) güneş ocakları imal edip su ve patates deneyleri yapılarak performanslar karşılaştırmıştır. Su kaybına göre değerlendirildiğinde en iyi performans ortalama % 32.5'lik performans gösteren salyangoz tipi güneş ocağıyla elde edilmiştir. Patates ile pişirme deneyleri yapılmış en kısa sürede 180 dakika ile salyangoz tipi güneş ocağı sonuca ulaşmıştır [6]. Kurutmada önemli faktörlerden biride kurutma ortamını kontrol edebilmektir. Aktaş ve ark. kızılötesi bir sistemin gücünü, ürünün yüzey sıcaklığına göre kontrol etmeyi başarmışlardır. Bunu yaparken, kızılötesi ısıtıcı yüzey sıcaklığın, ürüne zarar veremeyecek aralıkta kontrol etmiştir. Analiz sırasında, ahşapların yüzey sıcaklığı ortalama 65 °C, en düşük sıcaklık ise 45 °C olmuştur. Sistemde kullanılan hava toplayıcının %50 verimli olduğu tespit edilmiştir. 13 saatlik bir kuruma süresinin sonunda, çam kerestelerinin nem içeriği 1.42'den 0'a düşürülebilmektedir [7].

Gıda kurutma fırınlarında enerji önemli bir yer tutmaktadır. Çoğunlukla gaz ve elektrikli olarak tasarlanan gıda kurutma fırınlarında enerji tasarrufu yöntemlerinden en önemlilerinden biride yalıtımdır. Gıda kurutma fırınlarında enerji tasarrufu ve verimliliği üzerine birçok çalışma vardır ancak yalıtımın etkisi üzerine yapılmış akademik çalışma pek fazla bulunmadığı söylenebilir. Gürel ve ark. Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısı yalıtım kalınlığının ekonomik ve çevresel etkileri üzerine çalışma yapmıştır. Türkiye'nin dört iklim bölgesinde Antalya, Manisa, Ankara ve Sivas için iki farklı yalıtım malzemesinin (ekstrüzyon polistiren ve taş yünü) ve beş farklı yakıt türünün kullanımında optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda optimum yalıtım kalınlığının 0.016 ile 0.145 m arasında, enerji tasarrufunun ise 1.79 \$ / m² ile 103.44 \$ / m² arasında olduğu görülmüştür [8]. Ceylan ve ark. yük sensörü ile kurutmayı takip ederek psikrometrik analiz yapmıştır. Bu değerlere bağlı olarak, 50 saatte çam kerestesinden 5.7 kg, kavak keresteden ise 70 saatte 12.5 kg nem çekilmiştir [9].

Mukherjee S. ve arkadaşları endüstriyel fırınların mükemmellik kazanabilmesi için fırın parametreleri üzerinde değişiklik yaparak bu değişikliklerin fırın performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Fırın içindeki enerji akışı, ısı kayıplarındaki azalmayı tahmin etmek için deneysel olarak belirlenmiş girdiler kullanılarak modellenmiştir. Fırın performansında % 8,5 iyileşme sağlayan çalışma ile operasyonel verimlilikte artış elde etmiştir [10]. Fırın verimliliği hakkında yapılmış olan bu çalışmada; gıda pişirme işleminde gerekli olan enerji sarfiyatını, fırın havası nemini, fırın yalıtımını, ısı eşanjöründen gelen akışkanlardan kaynaklanan ısı kaybını araştırmıştır. Enerji kullanımı ve kayıpları hakkında çalışmış ve bir ısı geri kazanım sistemi ile elde edilebilecek enerji tasarrufunu hesaplamıştır [11]. Fırın muayene ve denetimleri ile ilgili kontrol ve ayrıntılarla ilgili teknik bilgiler verilmiştir [12]. Fırında yakıt verimliliğini en az % 15 artıran, pişirme için kullanılacak atık ısıyı geri kazanan bir sistem tasarımı yapılmıştır [13]. Davidson ısı transferi ve fiziksel performans bakımından fırın konveyör bantlarının ürüne etkisini araştırmış ve fırın konveyör bantlarını sınıflandırmıştır [14]. Endüstriyel fırınların durumu hakkında araştırmalar yapmıştır [15]. Walker fırın teknolojilerinden bahsettiği çalışmasında, hibrit fırınlar ve ısı transfer mekanizmaları hakkında çalışmıştır [16].

Bu çalışmanın amacı gıda kurutma fırınında yalıtımsız-yalıtlı halin kurutma süresi, anlık ve kümülatif elektrik tüketimi, özgül enerji tüketim ve özgül nem çekme oranını elma kurutarak elde etmektir.

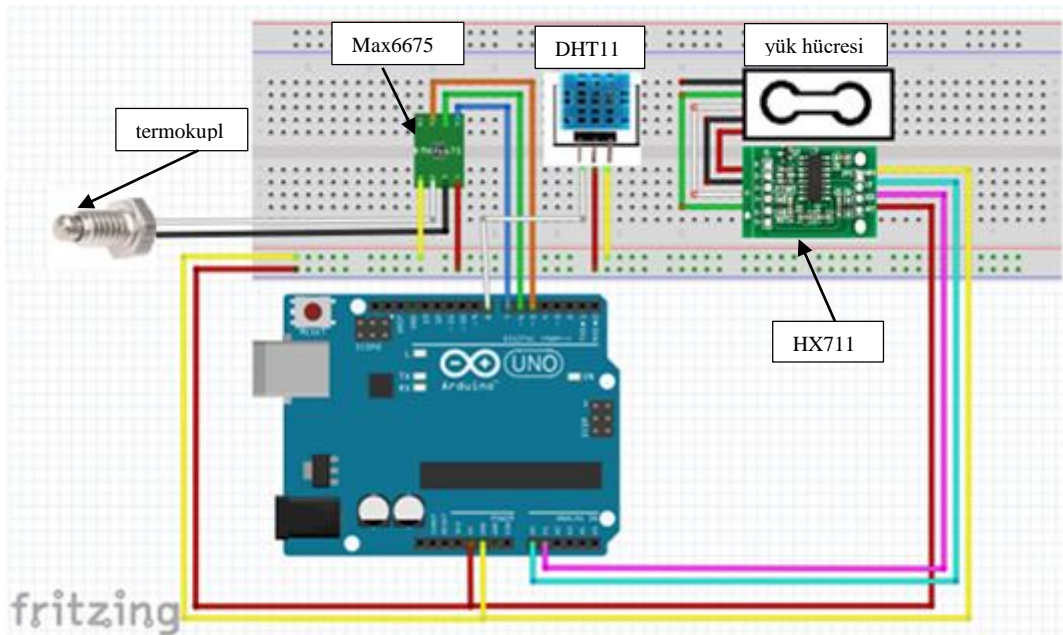
2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

GKF çalışma prensibi olarak mikro denetleyici içeren arduino (uno) ile gıda kurutma fırınında kurutma için önemli olan sıcaklık nem, ağırlık ve süre gibi kurutma parametreleri kaydedilmiştir.



Şekil 1. Yalıtımlı – yalıtımsız GKF

Fırın iç hacminden, gıda ağırlığı, ısı, bağıl nem gibi veriler mikrodenetleyici aracılığıyla alınıp, bilgisayara aktarılmıştır. Sıcaklık ölçümü termokupl ile fırın üst hacmi ölçülerek yapılmıştır. Gıdanın ağırlığı yük sensörü (load cell) ile ölçülmüştür. Termokupl ve yük sensöründen alınan sinyaller arduino kartına yüklenebilen yazılım sayesinde anlamlandırılmıştır. Deney düzeneği üzerindeki tüm ölçümler tek yazılımla aynı anda ölçülerek kaydı ekrana yazdırılmıştır.



Şekil 2. Arduino mikrodenetleyici ile nem, sıcaklık ve ağırlık ölçüm blok diyagramı

GKF fan-rezistans çakışık merkezli olup eş zamanlı çalışmaktadır. Termostat yazılım kullanmaksızın ortam ısısına bağımlı devreyi açıp-kapatmakta ve fan-motor ikilisini eş zamanlı olarak çalışmasını kontrol etmektedir.

Tablo 1. GKF düzeneği, kullanılan cihaz ve özellikleri

kullanılan cihaz	özellikleri	ölçüm aralığı
yük hücresi	ağırlık kapasitesi (en fazla)	1 kg
termokupl	sıcaklık ölçümü	-20 °C ~ 85 °C
zaman rölesi	ortam / depolama sıcaklığı	0...50 °C/-25...70 °C
tek fazlı aktif sayaç	frekans	50 Hz
	çalışma sıcaklığı	-40 ~ 80 °C

Yalıtım malzemesi olarak kullanılan cam yünü ve taş yünü 2.5 cm olarak alüminyum folyo bant ile fırına kaplanmıştır. Cam yünü ve taş yününün ısı iletkenlik katsayısı (λ) 10 °C için 0,035~0,040 W/mK aralığındadır. Taş yünü ve cam yünü su buhari difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ 'dir. Deneylerde yalıtım malzemesi olarak cam yünü ve taş yününün seçilme sebebi yalıtımda en çok kullanılan malzemeler olmasıdır.

Termodinamiğin 1. kanununa göre sistemi incelediğimizde, rezistansa elektrik enerjisi verilerek (W_r) fırın içi sıcaklığı istenilen aralıkta tutulmuştur. Kurutulacak elmanın (Q_e) istenilen sıcaklığa kadar ısıtılması ve fırın içindeki havanın (Q_h) ısıtılması için gerekli ısı miktarı hesaplanmamıştır. Ancak ilk anda istenilen fırın sıcaklığına yükselirken anlık tüketimin yüksek çıkmasına sebep olacağı bilinmektedir. Fırın iç sıcaklık dağılımının homojen olması amacı ile fan (W_f) rezistansla eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Gıda kurutma fırınında fırın içinde oluşan ısı kaçaklar (Q_k) ve fırın duvarlarından (Q_d) dışarı ısı atılmaktadır.

Denge halindeki bir sistem için

$$E_{giren} = E_{çıkan} \quad 1$$

olur.

$$W_r + W_f = Q_k + Q_d + Q_h + Q_e \quad 2$$

olarak elde edilmiştir.

Fan ve rezistans toplam enerjisi sayaç yardımı ile ölçülebilmektedir. Eşitlik 2 den anlaşılacağı üzere W_r ve W_f için harcanan iş Q_k , Q_d , Q_h ve Q_e toplamına eşittir [17]. Elmanın ilk anda fırın ortamı sıcaklığına yükselmesi için gerekli olan ısı kurutulacak gıdanın ağırlığı aynı olduğundan cam yünü ve taş yünü deneyleri içinde aynı olacaktır. Bu da Q_e 'nin elektrik tüketimi açısından izolasyonlu deneylerde de fark unsuru olmayacağı anlamına gelir. Fırın içi hava sıcaklığının (Q_h) deney sıcaklığı olan 80 °C'ye ısıtılması için gerekli ısı miktarı izolasyonlu deneylerde de aynı olacaktır.

$$Q_k = m_k c_p \Delta T \quad 3$$

$$Q_d = m_d c_p \Delta T \quad 4$$

$$Q_h = m_h c_p \Delta T \quad 5$$

$$Q_e = m_e c_p \Delta T \quad 6$$

Elma ve fırın içi havasının deney sıcaklığına ulaşmasından sonra sabit seyreden anlık elektrik tüketimi Eşitlik 2'de görüldüğü gibi Q_k (Eş. 3) ve Q_d (Eş. 4) toplamına eşit olacak ve bu sayede tüketilen toplam

enerji kaçaklarla birlikte yalıtımın kurutmaya etkisi hakkında dolaylı ve ölçülebilir bir bilgi edinmemizi sağlayacaktır.

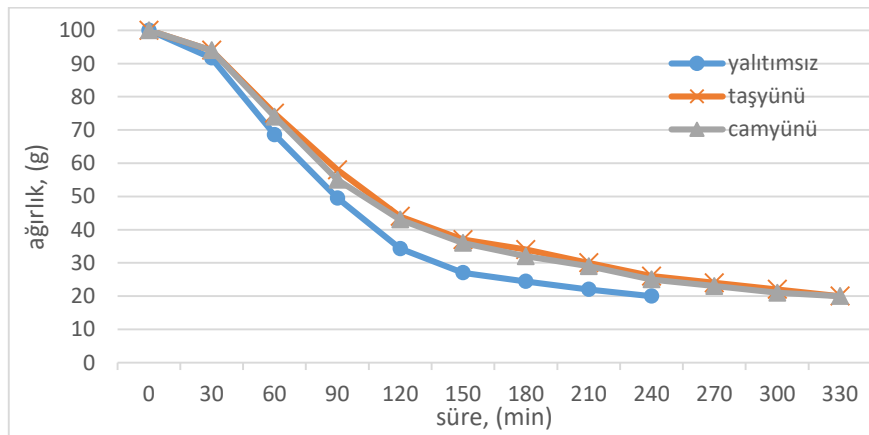
Özgül enerji tüketimi (Specific Energy Consumption, SEC) dilimlenmiş elmayı kurutmak için harcanılan enerji (kWh) değerinin dilimlenmiş elmadan buharlaştırılan su kütlesine (kg) oranıdır. Özgül nem çekme oranı (Specific Moisture Extraction Rate, SMER) dilimlenmiş elmadan buharlaştırılan su kütlesinin (kg) dilimlenmiş elmayı kurutmak için harcanılan enerji (kWh)'ye oranıdır.

Elma ile yapılan deneylerde Karamanda yetişmiş, I. Sınıf, Arjantin elma kullanılmıştır [18]. Elmalar Zyliss marka dilim kalınlıkları ayarlanabilen dilimleme makinesinde 3mm dilimlenerek kurutulmuştur. Dikmen E. ve ark. "Türk standardı TS 4087'ye göre birbirini izleyen iki tartı arasında kütle farkının, her bir deney parçası için % 1 den az olması halinde tam kuru hale gelmiş olur" kuru hal tanımını gözönünde bulundurarak deneyleri yürütmüştür [19,20].

Türk Standart Enstitüsü "Kurutulmuş elma- Özellikler ve deney metotları" başlıklı TS 3688 ISO 7701 kodlu standarda uyularak elma dilimleri kurutulmuştur [18]. 3688 ISO 7701 kodlu standartta bahsedildiği üzere kurutulmuş elma diliminin % 25 nem ihtiva etmesi gerekmektedir. Dolayısı ile toplam ağırlık % 25 nem ile birlikte % 19,75 olarak tespit edilmiştir. 30 dk. aralıklarla ölçülen kurutma işlemleri kütsel olarak % 19,75 değerine geldiğinde kurutma işlemi sona erdirilmiştir. Ölçümün güvenilirliği için her deney üçer defa tekrarlanmış ve bu sebeple toplamda dokuz deney yapılmıştır. Yapılan deneylerde asıl amaç sağlıklı ve güvenilir elma kurutmak değil yalıtım malzemelerinin gıda kurutmada elektrik tüketimine etkisi olması sebebiyle deney sürelerinin kısa sürmesi için deneyler 80 °C'de yapılmıştır.

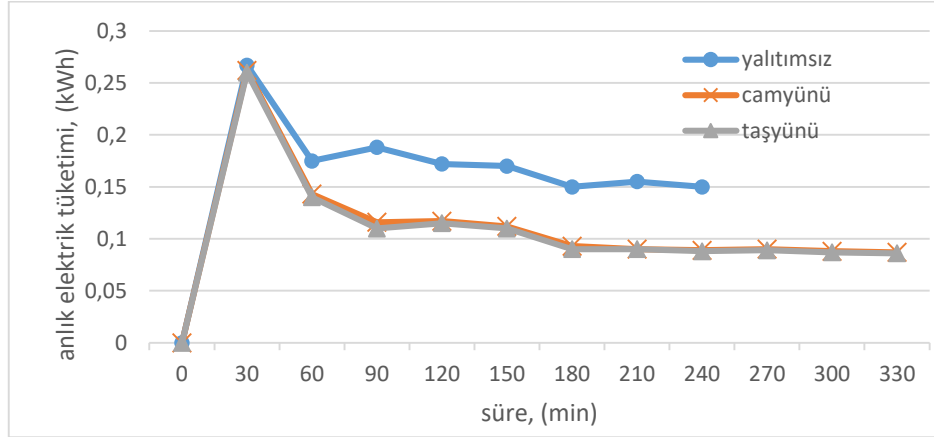
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI (RESEARCH RESULTS)

Yapılan çalışmada gıda kurutma fırınlarında yalıtımın önemi araştırılmıştır. Yalıtımsız, cam yünü ve taş yünü deneylerinden elde edilen bulgular işlenerek sonuçlar elde edilmiştir. Gıda olarak kurutulan elmalar ısındıkça elmadan sıvı buharlaşarak kütle kaybı yaşanmıştır. Şekil 3'de görülen grafikte yatay ekseninde süre dakika biriminde, dikey ekseninde ise ağırlık gram biriminde verilmiştir. Ancak deneylerde kurutulan elmanın tamamı % 100 kabul edilip tartım sonuçlarındaki ağırlıkların %'si alınarak hesaplanmıştır. Yalıtımsız yapılan deney 240 dakika cam yünü ve taş yünü deneyleri 330 dakikada bitmiştir. Deneylerin tamamında fırın içi bağıl nemi %1 de tutulmuştur.



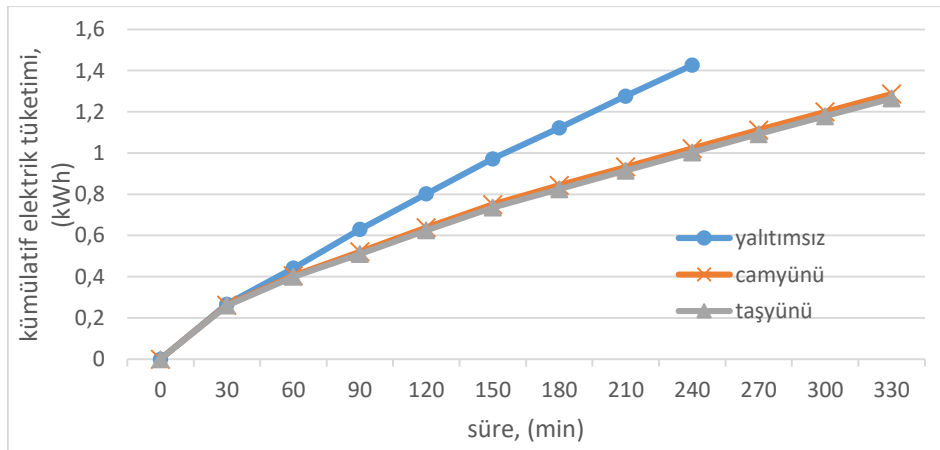
Şekil 3. Elma kurutmada zamana bağlı ağırlık grafiği

Şekil 4'te anlık elektrik tüketimi görülmektedir. Fırın içi hava sıcaklığı, fırın cidar sıcaklığı ve elma sıcaklığının düşük olmasından dolayı başlangıçtaki elektrik tüketimi keskin olarak artış göstermiş ve 0,26kWh elektrik tüketmiştir. Fırın içi hava sıcaklığı, fırın cidar sıcaklığı ve elma sıcaklığı 80 °C'ye çıktıktan sonra yaklaşık olarak bir saatten sonra elektrik tüketimi dengeli hale gelmiştir. İlk anda 0,26 kWh civarında bir tüketim her üçü içinde harcandıktan sonra, yalıtımsız haldeki elektrik tüketimi 0,15 kWh'e, cam yünü ve taş yünü 0,1 kWh'e dengeli hale gelmiştir.



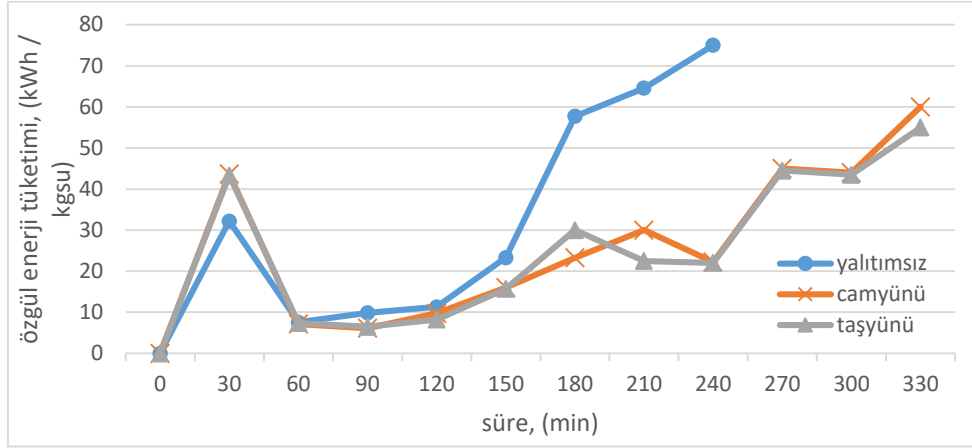
Şekil 4. Elma kurutmada zamana bağlı anlık elektrik tüketimi

Şekil 5'te tüketilen enerji üst üste bindirilerek toplam tüketilen enerji miktarı kümülatif olarak hesaplanmıştır. Cam yünü ve taş yünü yalıtımı ile yapılan deneyler uzun sürmesine karşın yalıtımsız halde yapılan deneylere göre daha az enerji tüketmiştir. Burada süre ve enerji maliyeti karşılaştırması yapılarak ihtiyaca göre tercih yapılmalıdır. Tüm deneylerin ortalama değerleri yalıtımsızda 1,420 kWh, cam yününde 1,287 kWh ve taş yününde ise 1,265 kWh hesaplanmıştır. Yalıtımlı deneyler nerede ise aynı seyretmiştir. Bu durum bizi yalıtımlar arasında maliyet ve işlev bakımından karşılaştırmaya itmiştir. Isı olarak bakıldığında cam yünü 200-250 °C'lere kadar dayanabilmekte ancak taş yünü bunun çok üstünde 800 °C'lere kadar dayanabilmektedir. Sıcaklığa karşı direnç bu konuda bir belirleyici etken değildir. Güncel fiyatlara bakıldığında ise taş yünü cam yününe göre 6-8 kat daha pahalı olduğu göz önünde bulundurulursa taş yünü yerine cam yünü tercihi gıda kurutma fırınlarında daha isabetli bir tercih olacaktır. Yalıtımsız enerji tüketimine nazaran yalıtımlı deneylerin % 10,97 enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir.



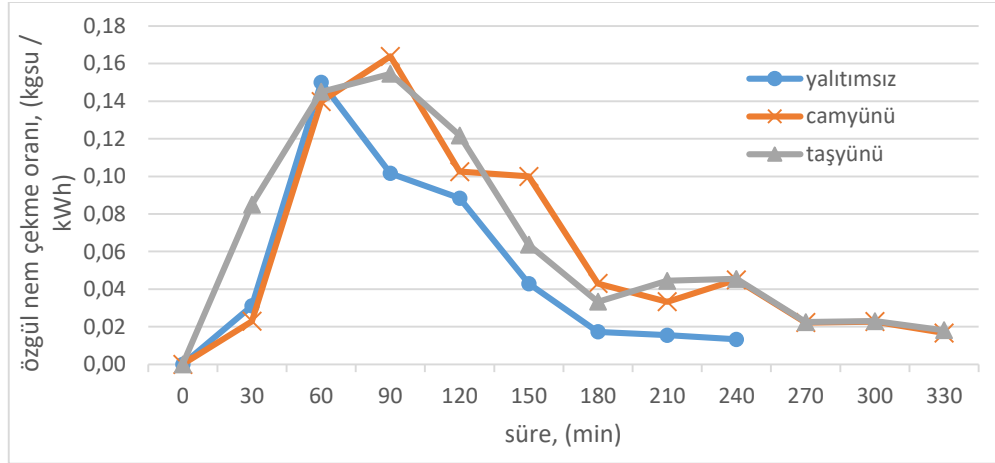
Şekil 5. Elma kurutmada yalıtımlı ve yalıtımsız zamana bağlı kümülatif enerji tüketimi

Gıda kurutmada birim kütle için harcanan enerji miktarı zamana bağlı olarak hesaplanmıştır (Şekil 6). İlk anda keskin bir yükseliş eğrisi yapmış ancak daha sonra sabit bir aralıkta seyretmiştir. İlk anda keskin bir yükseliş eğrisi yapmış olmasının sebebi ilk 30 dakikada harcanan enerji tüketiminin gıda, fırın ve hava sıcaklığını 80 °C'ye çıkarmak için yüksek miktarda harcanmasındandır. Grafğin daha sonra yükselişe geçişinin sebebi elmanın yapısı gereği su atmaya karşı direnç göstererek birim su buharlaşma miktarının azalması ve buna ek olarak enerji tüketiminin aynı kalması eğrinin yalıtımlı ve yalıtımsızda 150. dakikadan sonra yükselişe geçmesine sebep olmuştur. 60-120 dakika aralığında özgül enerji tüketimi 10 kWh/ kgsu aralığında seyredip yalıtımsızda 150. dakikadan yalıtımlıda ise 240. dakikadan sonra keskin bir artışa geçmiştir.



Şekil 6. Elma kurutmada yalıtımlı ve yalıtımsız zamana bağlı özgül enerji tüketimi

Elma kurutmada zamana bağlı olarak birim enerjide özgül nem çekme oranı (SMER) kapasitesi Şekil 7’de görülmektedir. Özgül nem çekme oranı 60-90 dakika aralığında tepe noktasına ulaşır 0,14-0,16 kgsu/kWh aralığında değer almışlardır. Daha sonra 180. dakika ya kadar keskin bir azalma yaşanmıştır. 180. dakikadan sonra yalıtımsız 0,20 cam yünü ve taş yünü 0,40 kgsu/kWh yakınlarında yaklaşık değerler almıştır.



Şekil 7. Elma kurutmada yalıtımlı ve yalıtımsız zamana bağlı özgül nem çekme oranı

Fırın verimliliği hakkında yapılan çalışmalar konu ve insanlık için gerekliliği hasebi ile oldukça fazladır. Ancak bu GKF de yalıtımın enerji tüketimine etkisi olunca çalışma konusu özelleştiği için direkt bu konuda yapılan çalışma bulmak oldukça zor olduğundan bu çalışmanın önemi bir kez daha anlaşılması gerekir. Yalıtımın enerji tasarrufuna dikkat çekmek istediğimiz çalışmamızda ise sadece yalıtım ile % 10,97 enerji tasarrufu sağlanmıştır. % 10,97 enerji tasarrufu ise ticari bir işletmede ton üzerinden kurutma yapıldığı hesaba katılırsa elektrik tasarrufu açısından çok önemli bir rakam arz etmektedir.

4. SONUÇ VE TAVSİYELER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Yapılan bu çalışmada GKF elektrik tüketimi cam yünü ve taş yünü yalıtımı yapılarak yalıtımsız haldeki kurutma ile karşılaştırılmıştır. Kurutmada numune gıda olarak elma kullanılmıştır. Elma kurutmada yalıtımsız yapılan deneyler 240 dakika cam yünü ve taş yünü yalıtımı ile yapılan deneyler 330 dakikada sürmüştür. Yalıtımsız haldeki elektrik tüketimi 0,15 kWh’e, cam yünü ve taş yünü 0,1 kWh’e yakın değerlerde dengeli hale gelmiştir. Tüm deneylerin kümülatif elektrik tüketimi yalıtımsızda 1,420 kWh, cam

yününde 1,287 kWh ve taş yününde ise 1,265 kWh olarak tespit edilmiştir. Yalıtımsız enerji tüketimi yalıtımlı ile karşılaştırıldığında % 10,97 enerji tasarrufu sağlamıştır. Özgül enerji tüketimi 60-120. dakika aralığında 10 kWh/kgsu aralığında seyrederek yalıtımsızda 150. dakikadan yalıtımlıda ise 240. dakikadan sonra keskin bir artışa geçmiştir.

Bundan sonra yapılacak deneylerde;

- ✓ farklı yalıtım malzemeleri denenebilir.
- ✓ endüstriyel büyüklükteki fırınlarda ki elektrik tüketimleri tespit edilebilir.
- ✓ infrared ve dondurarak kurutma gibi farklı kurutma teknikleri üzerinde de çalışılabilir.

KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

Egiren	= sisteme giren enerji (kj)
Eçıkan	= sistemden çıkan enerji (kj)
ΔT	= sıcaklıklar arasındaki fark ($^{\circ}C$)
Wr	= rezistans işi (kj)
Wf	= fan işi (kj)
Qh	= fırın içi hava sıcaklığı (kj)
Qk	= ısı kaçaklar (kj)
Qd	= fırın duvarından çıkan ısı (kj)
Qe	= kurutulacak elmanın istenilen sıcaklığa kadar ısıtılması için gerekli ısı (kj)
mk	= kaçak havanın kütlesi (kg)
md	= duvarın kütlesi (kg)
mh	= havanın kütlesi (kg)
me	= kurutulan elmanın kütlesi (kg)
cp	= sabit basınçtaki özgül ısı (kj/kgK)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018): <http://www.fao.org/statistics/en>.
- [2] Kılıç F., Köse, A., Meyve-Sebze Kurutma Makineleri İçin Arduino Tabanlı Neme Duyarlı Fan Kontrol Tasarımı. In 1st International Turkish World Engineering and Science Congress Antalya, (2017).
- [3] Bradford, K.J., Dahal, P., Asbrouck, J.V., Kunusoth, K., Bello, P., Thompson, J., Wu, F., The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. Trends in Food Science & Technology, 71(84-93), (2018).
- [4] Jiang, N., Liu, C., Li, D., Zhang, Z., Liu, C., Wang, D., Niu, L., Zhang, M., Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: Antioxidant properties, sensory quality, and energy consumption. LWT - Food Science and Technology, 82(216-226), (2017).
- [5] Aktas, M., Gonen, E., Bay Leaves Drying in a Humidity Controlled Heat Pump Dryer. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29(2)(433-441), (2014).
- [6] Variyenli, H.İ., Özdemir, M.B., Kaçmaz, H., Kılıç, F., Farklı Tipteki Güneş Ocaklarının Tasarımı, İmalatı ve Performanslarının Deneysel İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, 2(4)(333-342), (2014).
- [7] Aktaş, M., Ceylan, İ., Ergün, A., Gürel, A. E., & Atar, M., Assessment of a solar-assisted infrared timber drying system. Environmental Progress & Sustainable Energy, 36(6) (1875-1881), (2017).
- [8] Gürel, A. E., & Daşdemir, A., Economical and enviromental effects of thermal insulation thicness in four different climatic regions of Turkey. International Journal of Renewable Energy Research, 1(1) (1-10), (2011).

- [9] Ceylan, I., & Ergun, A., Psychrometric analysis of a timber dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2 (29-35), (2014).
- [10] Mukherjee, S., Asthana, A., Howath, M., Mcneill, R., Frisby, B., Achieving Operational Excellence for Industrial Baking Ovens. *Energy Procedia*, 161(395-402), (2019).
- [11] Davidson, I., Chapter 16 - Oven Efficiency, in *Biscuit Baking Technology (Second Edition)*, I. Davidson, Editor. Academic Press, (253-267), (2016).
- [12] Davidson, I., Chapter 17 - Oven Inspection and Audit, in *Biscuit Baking Technology (Second Edition)*, I. Davidson, Editor. Academic Press, (269-291). (2016).
- [13] Davidson, I., Chapter 9 - Heat Recovery System, in *Biscuit Baking Technology (Second Edition)*, I. Davidson, Editor., Academic Press, (157-161), (2016).
- [14] Davidson, I., Chapter 10 - Oven Conveyor Bands, in *Biscuit Baking Technology (Second Edition)*, I. Davidson, Editor. Academic Press, (163-183), (2016).
- [15] Pfeifer, H., Industrial Furnaces - Status and Research Challenges. *Energy Procedia*, 120(28-40), (2017).
- [16] Walker, C.E., Oven Technologies, in *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*, C. Wrigley, et al., Editors. Oxford: Academic Press, (325-334), (2016).
- [17] Çengel, Y., Boles, M.A., *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik (3.Basım)*. İstanbul: Literatür Yayıncılık, (135-137), (2000).
- [18] Türk Standartlar Enstitüsü. Kurutulmuş elma- Özellikler ve deney metotları, TS 3688, Ankara-Türkiye, (2009).
- [19] Dikmen E., Şahin A.Ş., Yakut A. K., Design of An Experimental Drying System and Investigation of Operating Parameters. *J. of Thermal Science and Technology*, 32 (2) (81-88), (2011).
- [20] Official Method of Analysis, J. of Association of Official Analytical Chemist, IAC, Arlington, Virginia, (1990).

Using TRIZ and Brainstorming in Design: With the case study of a Bed Base Scissors Lift System

Fazıl CANBULUT^{1,*}, Burak DEMİRTAŞ²

¹Erciyes University Faculty of Engineering Department of Mechanical Engineering 38039, Melikgazi/Kayseri

²Erciyes University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Mechanical Engineering, 38039, Melikgazi/Kayseri

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 25/06/2019

Revision 31/07/2019

Accepted: 06/08/2019

Highlights

- Using TRIZ and Brainstorming in Design
- Bed Base Scissors Lift System

Keywords

Bed Base scissor system,
Brainstorming, TRIZ,
Bed lifting system

In this study, We use the TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) approach and the traditional brainstorming method, and demonstrate the effectiveness of this combination by carrying out a case study on design of a bed base scissors lifting system

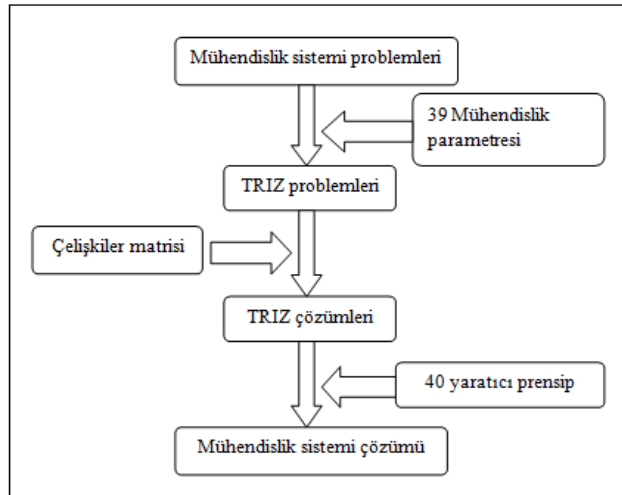


Figure A. Problem solving model with TRIZ

Purpose: The aim of this study is to contribute to the creation of creative solutions by combining TRIZ and brainstorming to help organizations solve the problems they face better, cheaper and faster.

Theory and Methods: In this study, a new scissors system design is introduced by following the design process based on brainstorming and TRIZ-contradiction matrix. Here, computerized models of commonly used scissors and redesigned scissors systems have been created, analyzed with finite element method suitable for real usage conditions and the results have been recorded.

Results: It is determined that the new design is superior to the old shear system in terms of parts strength, material usage and total cost.

Conclusion: In the design process, it is not possible to reach a solution that does not contradict with the combination of brainstorming method and TRIZ. A new plinth scissor lift system made with the new method was developed safer, lower cost and weight. Redesigned and dimensioned plinth scissor lift system increased by approximately 73%, 23.5% reduction in weight and 33% reduction in cost.



Tasarımda Beyin Fırtınası ve TRIZ Kullanımı: Baza Makas Kaldırma Sistemi Örnek Çalışması

Fazıl CANBULUT^{1,*}, Burak DEMİRTAŞ²

¹Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 38039, Melikgazi/Kayseri

²Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 38039, Melikgazi/Kayseri

Öz

Kuruluşların yaşamlarını sürdürebilmeleri, günün rekabet şartlarına adapte olmalarına bağlıdır. Ana rekabet unsurları ise teknolojik gelişmeler, kısalan ürün ömürleri ve müşteri ihtiyaçlarının hızlı değişimidir. Bu nedenle, kuruluşların karşılaştıkları problemleri daha iyi, daha ucuz ve daha hızlı bir şekilde çözmeleri gerekir. TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi), küçük ölçekli firmalarca çok fazla kullanılmamasına rağmen, inovatif problem çözmede etkili araçlardan birisidir. Bu çalışmada, TRIZ ve beyin fırtınası yöntemi birlikte kullanılmış ve bu kombinasyonun etkinliği bir baza makas kaldırma sistemi üzerinde gösterilmiştir. Sonuçlar net bir şekilde nihai ürünün geleneksel olanlara göre daha güvenilir, düşük maliyetli ve daha hafif olduğunu göstermektedir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 25/06/2019

Düzeltilme: 31/07/2019

Kabul: 06/08/2019

Anahtar Kelimeler

Baza makas sistemi,
Beyin fırtınası, TRIZ,
Yatak kaldırma sistemi

Using TRIZ and Brainstorming in Design: With the case study of a Bed Base Scissors Lift System

Keywords

Bed Base scissor system,
Brainstorming, TRIZ, Bed
lifting system

Abstract

The survival of organizations depends on their adaptation to the evermore competitive environment of the day. The main competitiveness areas are rapid technological developments, shortened product life cycles and rapid change of customer requirements. Therefore, organizations need to respond to these challenges by adapting to better, cheaper and faster problem solving methods throughout the product development process. Although not widely utilised by small companies, TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) is one of the valuable tools for such innovative problem solving approaches. We use the TRIZ approach and the traditional brainstorming method, and demonstrate the effectiveness of this combination by carrying out a case study on design of a bed base scissors lifting system. The results confidently indicate that the final product is more reliable, cost-effective and lighter as compared to the traditional ones.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknoloji ve hizmet alanlarındaki rekabet küresel ölçekte her geçen gün daha da artmaktadır. Küresel rekabet, kuruluşlar için bir kriz ya da fırsat olabilir. Bu çetin rekabet ortamında yalnızca yeni fikirler bulup ve bunları hızla uygulayanlar ayakta kalabilir. Böylece yaratıcı problem çözme yeteneği kişi ve kurumlar için çok önemlidir. Bu bağlamda yaratıcılık ve problem çözme kabiliyeti; akıl, zekâ, bilim, tecrübe ve hayal gücüne dayalı oluşur ve gelişir. Çok iyi eğitilmiş uzman veya araştırmacılar bile yeterince yaratıcı olamayabilirler. Bu konuda doğuştan bazı yetenekler yanında (hayal gücü gibi) bazı sistematik yaklaşımlara da ihtiyaç duyulabilir. Bazı uzman/araştırmacılar; temel ve özel alanlarda bilgi sahibi olmakla birlikte zamanla yaratıcılıklarını kaybedebilirler. Gerçekte bu yetenek ergenlik ve gençlik dönemlerinde daha baskın olur ama bazı yöntemlerle ileriki yaşlarda bile etkin hale getirilebilir.

Problem çözme süreci kendi içinde ele alınmalıdır. Daha etkili fikirler üretmek ve pratik çözümler geliştirmek için beyin fırtınası vb. teknikler kullanılabilir. Çözüm için yapılan iyileşme, yeni problemler ortaya çıkarsa çözüm kısır bir döngüye girebilir. Bu bağlamda problem çözümünde geleneksel ve/veya yaratıcı yöntemler kullanılabilir. Geleneksel problem çözme teknikleri; ana problemin tespit zorluğu, yanlış işlem veya amaç, psikolojik atalet, çatışma / çelişkiden kaçma gibi nedenlerden dolayı sınırlı çözüm verebilir [1]. Bulunan fikirler genelde özgün ve yaratıcı değildir. Çok kullanılan geleneksel yöntemler; 5N1K, Beyin fırtınası, Balık kılçığı diyagramı, Eşlenik sıralama tekniği, 6 şapka vb. şekilde sıralanabilir. Problem çözme amaçlı yaratıcı yaklaşımlar ise; TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi), Kaliteli Fonksiyon Yayılımı (QFD), Hata Türü ve Etkileri Analizi, Taguchi yöntemi, Altı Sigma ve Deneysel Tasarım şeklinde ifade edilebilir.

Bu makale kapsamında tanıtılan ve tasarım problemine uygulanan TRIZ yöntemi mantık, veri ve araştırmaya dayalı bir problem çözme felsefesidir. Yaratıcı problem çözmeyi hızlandırmak için birçok mühendis, tasarımcı ve mucittin önceki çözüm ve tasarım tecrübelerine dayanmaktadır. Diğer taraftan geleneksel yöntemlerle çözülen problemler, çözüm grubunun bilgi ve deneyimi ile sınırlıdır. TRIZ ile sistematik ve tüm kısıtlamaların karşılanacağı bir çözüme ulaşmak mümkündür. Eğer bir problem çelişki içeriyorsa TRIZ uygulanmalıdır [2]. Rus mühendis Altshuller tarafından geliştirilen TRIZ, farklı teknoloji ve birikimlere dayanır, yaratıcı problem çözmeye de büyük katkı sağlayabilir [3].

Mühendislik, iletişim, askeri, edebiyat, spor, tıp, politika, kitle iletişim araçları vb. diğer faaliyetlere uyarlanmış yaratıcı 40 TRIZ çözüm ilkesi kullanılmaktadır [4-5]. TRIZ araçlarını öğrenme ve kullanma bireysel yetenek gelişimine katkı sağlar [6-7]. TRIZ'e duyulan ilginin tüm dünyada artması TRIZ tekniklerinde uzman kişiler için bir pazar talebi de oluşturur. Bariani ve ark. [8] imalat ve montaj için tasarım (DFMA) ve yaratıcı problem çözme teorisini birleştirmiştir. Burada ortak özellikler birleştirilmiş olup yöntem uydu anten tasarımına uygulanmıştır. Benzer bir başka çalışmada Ensarioğlu ve ark. [9] TRIZ çelişki matrisi ile DFMA birleşimini montaj için tasarım alanına uygulamışlardır. Mayda ve Börklü [10-11], sistematik tasarım, TRIZ ve QFD kullanarak yeni bir kavramsal tasarım işlemi geliştirmiş ve bu işlem modelini mekanik filtre tasarımına uygulamışlardır. Mutlu ve Yapanmış [12], baza üst tablasını her konumda sabit tutacak bir makas mekanizması tasarlamış ve sonra da bunun kinematik analizini yapmışlardır. TRIZ; daha etkili, doğru ve hızlı problem çözme, yaratıcı becerileri sistematik olarak geliştirme, çözüm sayısı ve kalitesini artırma, pazara arz süresi ve maliyetleri azaltma sağladığı için, rekabet gücünü de artırır. Geleneksel düşünme biçiminden farklı olarak burada yeni / yenilikçi ürünler farklı yollarla yeni fikir ve uygulamalara göre tasarlanır.

Bu çalışmada, verimli kaynak kullanma ve alternatif tasarımları incelemeyi mümkün kıldığı için beyin fırtınası [13] ve TRIZ [14-15] birlikte uygulanacaktır. Yine bu kapsamda makaslı bazalarda önemli bir eleman olan makas kaldırma sistemi sistematik bir şekilde tekrar tasarlanacaktır. Literatür taramasında makas sistemi ile ilgili çok az sayıda yayına rastlanmıştır. Bu çalışmalar ise genellikle yaygın kullanılan makas sisteminin kinematik analizini içermektedir. Literatür ve piyasa araştırmalarına göre halen makas sisteminin yeniden inovatif bir şekilde tasarlanmasına ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Bu makale kapsamında beyin fırtınası ve TRIZ-çelişki matrisine dayalı tasarım işlemi takip edilerek yeni bir makas sistem tasarımı tanıtılmaktadır. Burada, yaygın kullanılan makas ve yeniden tasarlanan makas sistemlerinin bilgisayar ortamında modelleri oluşturulmuş, gerçek kullanım şartlarına uygun sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Bu yeni tasarımın eski makas sisteminden parça mukavemeti, malzeme kullanımı ve toplam maliyet gibi açılardan üstün olduğu belirlenmiştir. Bu aşama sonucunda teknolojik olgunluk seviyesi (TRL) TRL6 aşaması tamamlanmıştır. Yeni ürünün rekabet koşullarında eskiye göre oldukça avantajlı olduğu makale içinde gösterilecektir. Bu çalışmadan sonra yeni makas sisteminin TRL7, 8 ve 9 seviyeleri en kısa zamanda gerçekleştirilerek endüstride kullanılabilir hale gelmesi sağlanacaktır.

1.1. TRIZ ve Beyin Fırtınası Yaklaşımları (TRIZ and Brainstorming Approaches)

Beyin fırtınası, çeşitli alanlardan uzmanların fikirlerini önceden yargılamadan öne sürdüğü, yaratıcılığı teşvik etmek amaçlı önemli ve çok kullanılan bir yöntemdir. Burada katılımcıların müşterek yaratıcı düşünme ve fikirler üretmesiyle zor bir probleme alternatif çözümler üretilir. Bu yöntem ilk önce AF Osborn tarafından önerilmiştir [13]. Beyin fırtınası bir grup katılımcının kolektif yeni ürünler geliştirme, uygulama ve kullanımı ile ilgili fikirler / çözümler aramasını sağlayan bir yöntemdir. Burada dört önemli temel kural vardır [13]: Bunlar; eleştirel yargılamalar yapmamak, fikirleri özgürce ifade etmek, çok sayıda fikir toplamak, fikirlerde birleştirme ve iyileştirmeler yapmak şeklindedir.

TRIZ; Rusça “Teoria Rechenia Izobretatelskih Zadatchi” ifadesinin kısaltması olup, İngilizce olarak ise “Theory of Inventive Problem Solving” (TIPS) şeklinde kaynaklarda yer almaktadır [16]. TRIZ, mühendis, tasarımcı veya mucitlerin yeni ürün tasarımlarında karşılaştıkları zor ve karmaşık sorunları çabuk ve etkili bir şekilde çözümünde onlara yardımcı olur. TRIZ 1,500,000'in üzerinde patenti analiz eden Altshuller ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu makale kapsamında TRIZ araçlarından çelişki matrisi tanıtılacak ve tasarım problem çözümlerinde nasıl kullanılacağı gösterilecektir. Çelişki matrisinin yukarıdan aşağıya ilk satır hücrelerinde ve soldan sağa ilk sütun hücrelerinde 39 mühendislik parametresi yer alır. Bu parametrelerden yukarıdan aşağıya yer alanlar tasarımda iyileşmesi (yer alması) istenilen parametreleri ifade ederken; soldan sağa yer alanlar ise tasarımı zayıflatan ve istenmeyen parametreleri belirtir. Örneğin; tasarımda (bir parçaya ait) dayanım artırılmak istendiğinde bu durum parça ağırlığını da artırabilir. Burada dayanım istenilen bir özellik iken ağırlık istenmez ve bu durum ise bir çelişki (zıtlık, tezat) oluşturur. 39 TRIZ mühendislik parametresi Tablo 1’ de verilmiş olup bu parametrelerle çelişki/zıtlık oluşturan tasarım problemlerinin hemen hemen tamamına yakını ifade edilebilir [17]. TRIZ’de çelişki şeklinde ifade edilecek tasarım problem çözümlerinde kullanılan 40 yaratıcı çözüm ilkesi vardır (Tablo 2). Bu 40 yaratıcı çözüm ilkesi dünya çapında ve genelde çok büyük bir sayıdaki patentler incelenerek (-ki günümüzde incelenen patent sayısı 4.5 milyonu aşmıştır) ve bunların dayandığı çözüm prensipleri (mantığı) genelleştirilmek sureti ile elde edilmiştir. TRIZ’de şu iki tür çelişki yer almaktadır: (1) Teknik çelişki ve (2) Fiziksel çelişki. Bunlardan ‘Teknik çelişki’ biraz önceki örneğe benzer tezat / zıtlıkları içerir. Yani, tasarımda iyileştirilmek istenilen bir parametre sistemde istenmeyen olumsuz bir etkiye veya soruna neden olabilir. Eğer tezat içeren bu istenilen ve istenmeyen etkiler (çelişkiler) 39 mühendislik parametresi cinsinden belirlenip Çelişki matrisinde ilk sütunda ve ilk satırda bu parametrelerin seçilip kesiştirilmesi ile elde edilen hücrede çözümler yer alacaktır (Tablo 3). Yani bu çözüm hücresinde 40 yaratıcı çözüm ilkesi cinsinden 4 çözüm olacaktır. Bu 4 yaratıcı çözümden birinden birisi çok büyük bir olasılıkla mevcut tasarım çelişkisini çözecektir. (2) Fiziksel çelişki ise tasarlanan sistemde aynı parametrenin hem olması hem de olmaması halini içerir (matristeki soldan sağ köşeyi birleştiren hücreler). Yani bir şeyin hem uzun hem kısa olması, hem sıcak hem soğuk olması hem sert hem yumuşak olması gibi. Bu çelişki halinde şu dört stratejiden biri uygulanmalıdır: Zamanda ayırma, Mekanda ayırma, Bütün ve parçaları arasında ayırma ve Duruma göre ayırma. Örneğin bir oda hem sıcak hem de soğuk yapılacaksa bu oda içine bir buzdolabı koyarak veya farklı zamanlarda olması gibi.

Tablo 1. Teknik çelişki oluşturan 39 mühendislik parametresi

No	Mühendislik Parametresi	No	Mühendislik parametresi	No	Mühendislik parametresi
01	Hareketli cismin ağırlığı	14	Mukavemet	27	Güvenilirlik
02	Hareketsiz cismin ağırlığı	15	Hareketli cismin dayanımı	28	Ölçüm güvenilirliği
03	Hareketli cismin uzunluğu	16	Hareketsiz cismin dayanımı	29	İmalat güvenilirliği
04	Hareketsiz cismin uzunluğu	17	Isı	30	Cisme zarar veren faktörler
05	Hareketli cismin alanı	18	Parlaklık	31	Zararlı yan etkiler
06	Hareketsiz cismin alanı	19	Hareketli cismin harcadığı enerji	32	İmalat kolaylığı
07	Hareketli cismin hacmi	20	Hareketsiz cismin harcadığı Enerji	33	Kullanım kolaylığı
08	Hareketsiz cismin hacmi	21	Güç	34	Onarım kolaylığı
09	Hız	22	Enerji kaybı	35	Adapte edilebilirlik
10	Kuvvet	23	Madde kaybı	36	Cihaz karmaşıklığı
11	Gerilme / Basınç	24	Bilgi kaybı	37	Kontrol karmaşıklığı
12	Şekil	25	Zaman kaybı	38	Otomasyon düzeyi
13	Cismin değişmezliği	26	Madde miktarı	39	Verimlilik

Tablo 2. Teknik çelişkilerin çözümü için 40 yaratıcı ilke

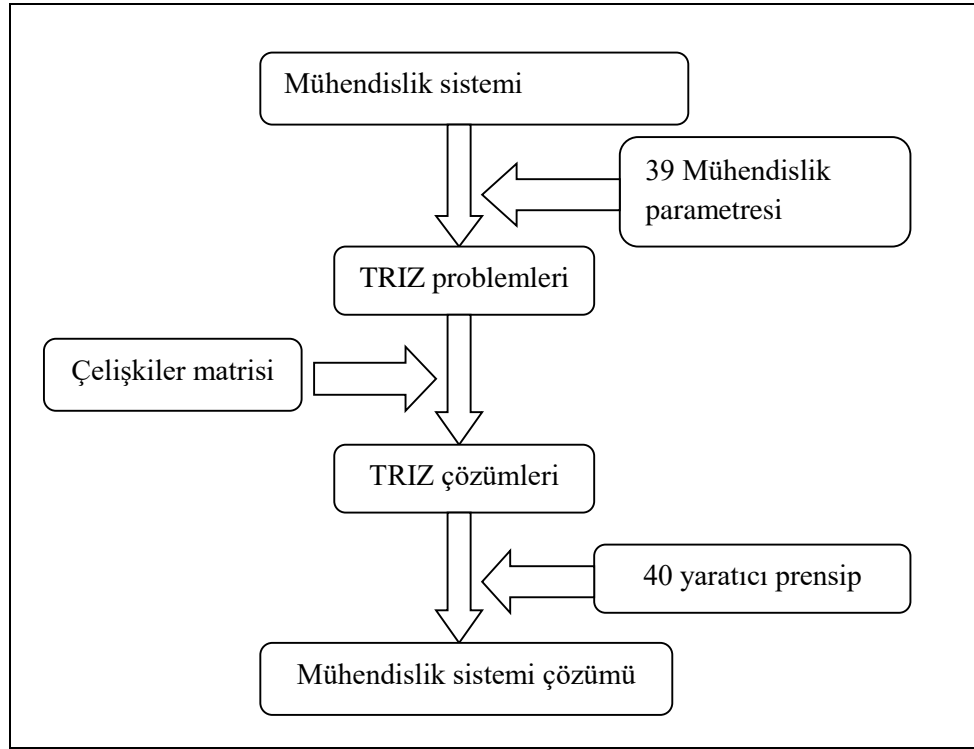
No	Yaratıcı Prensiptir	No	Yaratıcı Prensiptir	No	Yaratıcı Prensiptir
01	Bölümleme	14	Küresel yapma	27	Ucuz ve kısa ömürlü cisimler kullanma
02	Ayırma	15	Dinamiklik	28	Mekanik sistemin yerine koyma
03	Kısmi kalite	16	Kısmi fazlalık	29	Pnömatik ve hidrolik yapılar kullanma
04	Asimetri	17	Boyut değişimi	30	İnce film ya da zar
05	Kombinasyon	18	Mekanik titreşim	31	Gözenekli malzeme
06	Evrensellik	19	Periyodik eylem	32	Renk değiştirme
07	Yuvalama	20	Yararlı bir eylemin sürekliliği	33	Homojenlik
08	Karşı ağırlık	21	Hızlı hareket	34	Atılan ya da değiştirilen parçalar
09	Öncü karşıt eylem	22	Zararı faydaya çevirme	35	Fiziksel ya da kimyasal durum değişikliği
10	Öncü eylem	23	Geri besleme	36	Faz dönüşümü
11	Öncü önlem	24	Aracılık	37	Isıl genleşme
12	Eşit potansiyel	25	Self servis	38	Güçlü okside ediciler kullanma
13	Ters eylem	26	Kopyalama	39	Durağan çevre
				40	Kompozit malzeme

Tablo 3. 39*39 Çelişki Matrisinden bir bölüm

İyileşen Faktör ↓	Kötüleştiren Faktör →					
	1.Hareketli nesnenin ağırlığı	2.Hareketsiz nesnenin ağır.	3.Hareketli nesnenin uzunl.	...	38.Otomasyon seviyesi	39.Verimlilik
1			15, 8, 29, 34		26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
2					2, 26, 35	1, 28, 15, 35
3	8, 15, 29, 34				17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
.						
38	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28			5, 12, 35, 26
39	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38		5, 12, 35, 26	

TRIZ, tasarımcıların sistem problemleriyle ilgili çelişkileri çözmeleri ve ürün tasarlama/geliştirmelerine yardımcı olan etkili bir yöntemdir. Şekil 1’de de görüldüğü gibi TRIZ Çelişki Matrisi ile problem çözme işlemi önce üründe iyileştirme (istenen) özelliği ve bunun sonucu oluşan kötüleşme (istenmeyen) özellikleri, 39 mühendislik parametresi arasından karşılık gelen parametreler ile ifade edilir. İyileşme ile birlikte kötüleşme de oluyorsa bu bir teknik çelişkidir ve genelde bu tür çelişki olur (fiziksel çelişki çok az olur). Arkasından seçilmiş mühendislik parametrelerinden oluşan her çelişki çifti için iyileşen ve kötüleşen parametreler, TRIZ çelişki matrisinde numaraları tespit edilerek satır ve sütun olarak çakıştırılır ve karşılık gelen TRIZ ilkelerine göre bu çelişkiye çözümler aranır [18-19]. Bu durum Şekil 1’de açık bir biçimde gösterilmiştir. Eğer çelişki fiziksel çelişki ise bu durumda yukarıda anlatılan 4 stratejiden biri uygulanmalıdır.

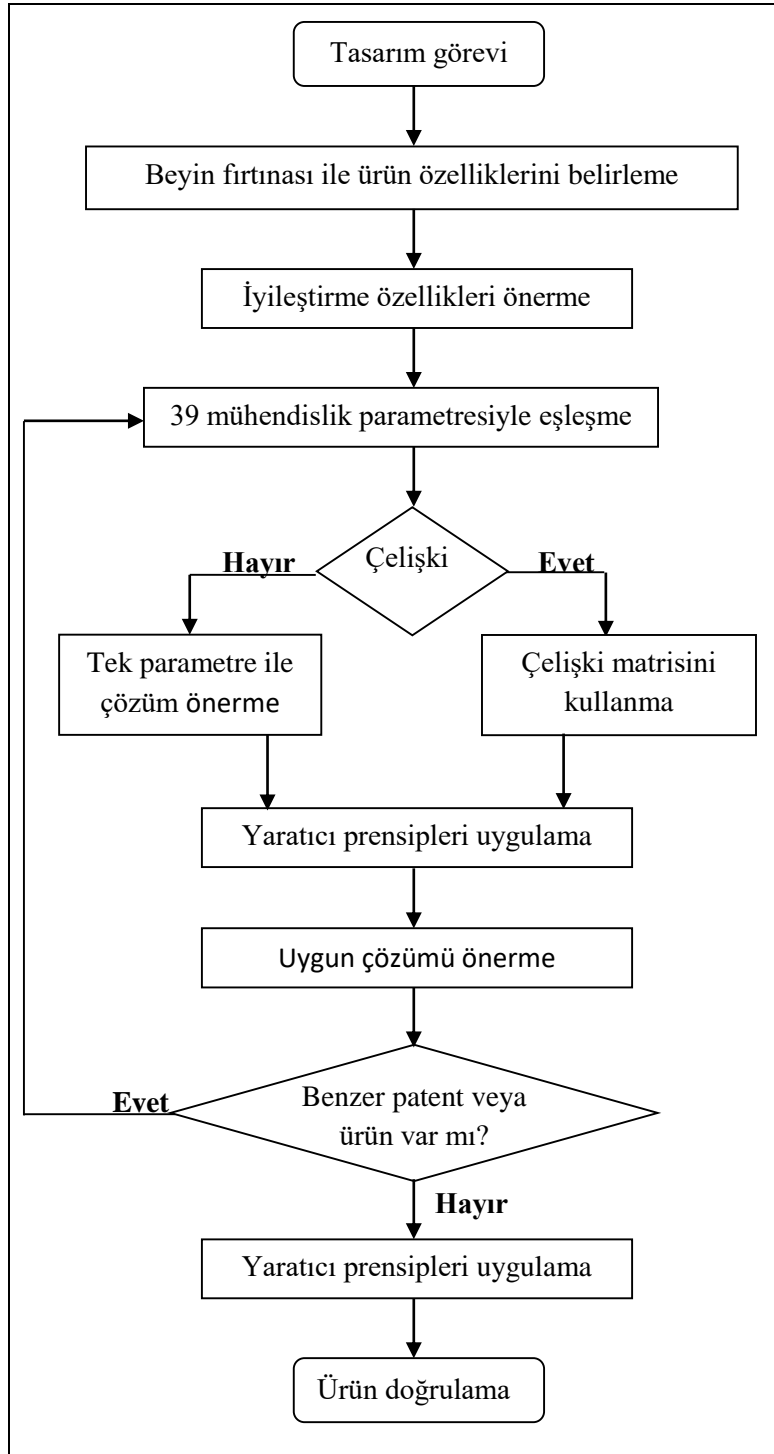
Ürün geliştirme aşamasında, birçok ürün tasarımcısı yeni/özgün fikirler bulmak için beyin fırtınası uygulamaktadır. Bu aşamada geliştirilmiş ve kötüleşen parametreler arası çelişkileri çözmeye de sistematik bir yöntem gerekir. Beyin fırtınası, bireysel tasarımcının bilgi, deneyim ve psikolojik ataleti ile sınırlıdır. Ancak TRIZ’in yenilikçi tasarım kurallarını uygulamak bu eksiklikleri giderebilir. İki yaklaşımın birlikte kullanılmasıyla sistematik bir biçimde çok daha fazla sayıda inovatif çözümlerin bulunması sağlanabilecektir.



Şekil 1. TRIZ ile problem çözme modeli [20]

2. TASARIM SÜRECİ (DESIGN PROCESS)

Bu çalışmada beyin fırtınası ve TRIZ'i birlikte uygulayan, bunların önemli özelliklerinden faydalanan yeni bir tasarım işlemi kullanılmaktadır (Şekil 2). Bu işlemin akış şeması şekilde görülmektedir.



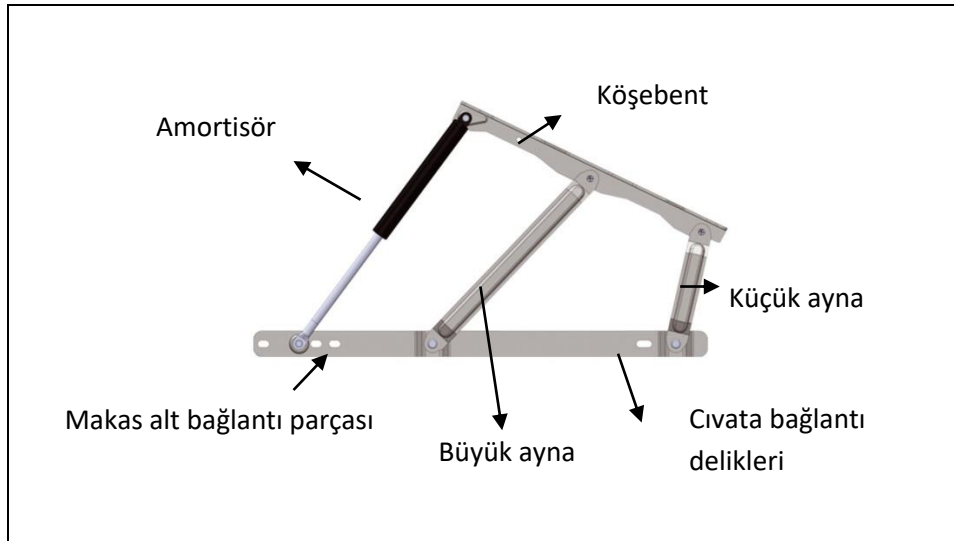
Şekil 2. Yenilikçi tasarım süreci akış şeması [20]

Bu yeni ve yenilikçi tasarım işlemi adım adım şu şekilde icra edilebilir. Tasarlanacak parça veya sistemin özellikleri analiz edilir. Önemli tasarım parametreleri belirlenir ve ihtiyaç listesi hazırlanır. Beyin fırtınası ile parçanın nasıl tasarlanacağını belirlemek için, grup toplantısı yapılır. Potansiyel problemleri ve/veya tasarım özelliklerini tanımlamak ve ürün özelliklerini iyileştirmek için araştırma

yapılır. Belirlenen özellikler 39 mühendislik parametresi arasından dönüştürülür ve çelişki durumu belirlenir. Teknik çelişki varsa, çelişki matrisi uygulanır. Çelişen parametrelerin keşiştiği hücrede, ürünü geliştirmek için tasarıma rehberlik edecek yaratıcı ilkeler belirlenir. Eğer bir çelişki durumu yok ise, her yaratıcı ilkeyi uygulamak için tek bir parametre yöntemi uygulanır ve grup tarafından tercih edilen seçilir. Yaratıcı ilkeleri belirleme sonrası ürün tasarımına çözümler aramak üzere beyin fırtınası toplantısı yapılır. Problemleri çözmek ve ürüne ait bileşenleri önermek için çözümler üretilir. Ürün bileşenleri önerme sonrası benzer ürün veya ilgili patentleri tespit amaçlı ürün ve/veya patent taraması yapılır. Benzer ürünler veya patentler varsa bu tasarım çözümünden vazgeçilmeli ve 39 mühendislik parametresine geri dönüp ürün yeniden tasarlanmalıdır. Ürün doğrulaması için bir prototip yapılır. Ürün bileşenlerini doğrulama sonrası patent başvurusu yapılabilir.

3. BAZA MAKAS MEKANİZMASI (BAZA SCISSOR SYSTEM– BED LIFT SYSTEM)

Günümüzde ev, otel ve yurtlarda genelde yatak bazaları çok kullanılmaktadır. Şekil 3'te açılabilir bazalarda bulunan baza makas mekanizması görülmektedir. Bu mekanizma hareketli ve sabit baza iskeletlerini birleştirir. Bunlardan her bir bazada St37 DKP sacdan yapılmış iki adet olacak şekilde sağ ve sol yanlarda takım olarak kullanılır. Bu çalışmada küresel mafsallı formunun kullanıldığı yeni bir tasarım konsepti, beyin fırtınası ve TRIZ kullanılarak belirlenmiştir. Böylece baza makas sisteminin daha sağlam (dayanıklı), az hammadde ile yapılan ve düşük maliyette olması/üretimi mümkün olmuştur. Yeni tasarım konsepti oluşturulduktan sonra ayrıntılı boyutlar ve bileşenler arasındaki uyumlu çalışma özenle tasarlanmıştır. Yeni makas sisteminin çalışması kinematik bilgisayar simülasyon yazılımı kullanılarak modellenmiş ve gerilme değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3. Mevcut baza makas sistemi

Hammadde tasarrufu, mevcut mekanizmanın çalışma prensibinin bozulmaması için, 'makas alt bağlantı parçası' üzerinde yapılmıştır. Bu parça 530x30x3 mm boyutlarında olup, üzerinde sabit bazaya montajı için slotlu cıvata delikleri bulunmaktadır. Ayrıca bu parça ile hareketli iskelete birleştirilen köşebent parça arasında hareketi sağlayan amortisör ve aynaların bağlantısı için de perçin delikleri yer almaktadır. Geliştirilen yeni mekanizmada 'Makas Alt Bağlantı Parçası', her bir parça 65x50,5 mm ebatlarında ve 3 mm kalınlıklarında üç ayrı özdeş parçadan oluşmaktadır.

3.1. Çözüm Yöntemi (Solution Method)

Merkez alt parçanın geliştirilmesi için, beyin fırtınası ve TRIZ çelişki matrisi birlikte kullanılmıştır. Önce konu uzmanları ile birlikte sistem analizi, beyin fırtınası tekniği kullanılarak yapılmıştır. Arkasından iyileştirilmesi gereken problemin 'makas alt bağlantı parçası boyutlarını azaltma' şeklinde yine beyin fırtınası marifeti ile belirlenmiştir. Bir sonraki adımda grup, 39 mühendislik parametresi üzerinde çalışarak problemi TRIZ problemine dönüştürmüş ve çelişki olup olmadığını araştırmıştır.

Sonuç olarak beyin fırtınası grubu Tablo 4’te verilen mühendislik parametrelerinden iyileşmesi gereken ve kötüleşen faktörlerin sırasıyla ‘8 hareketsiz nesnenin hacmi’ ve ‘14 dayanıklılık, Güç’ olduğuna karar vermiştir. Benzer çelişkilerin 40 yaratıcı ilkedен hangileri kullanılarak çözülebileceği, TRIZ çelişki matrisinden belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. TRIZ çelişkiler matrisi ve prensipler

	<i>Kötüleşen faktör</i>	14 Dayanıklılık, Güç
<i>İyileşen faktör</i>		
8 Hareketsiz nesnenin hacmi		9, 14, 17, 15

Tasarımcılara soyut olarak; 9 Öncü karşıt eylem, 14 Küresel yapma, 17 Boyut değişimi ve 15 Dinamiklik yaratıcı ilkelerinden biri ya da birkaçı birlikte çözüm için önerilmektedir.

9 Öncü karşıt eylem; İleride oluşabilecek istenmeyen kuvvet/basınca karşı koyacak (azaltabilecek) nesne kullanılması.

14 Küresel yapma; Düz parçalar, yüzeyler veya formlar kullanmak yerine eğimli kullanmak, düz yüzeyden küresel yüzeye geçmek, küp şekilli nesneyi top şekilli bir nesneye dönüştürmek.

17 Boyut değişimi; Boyutsal değişim.

15 Dinamiklik; Bir nesnenin en uygun çalışma koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanması. Bir bütünün birbirine bağlı olarak hareket etme yeteneği olan alt parçalara bölünmesi.

3.2. Yaratıcı İlkelerin Probleme Uyarlanması (Adapting Creative Principles to the Problem)

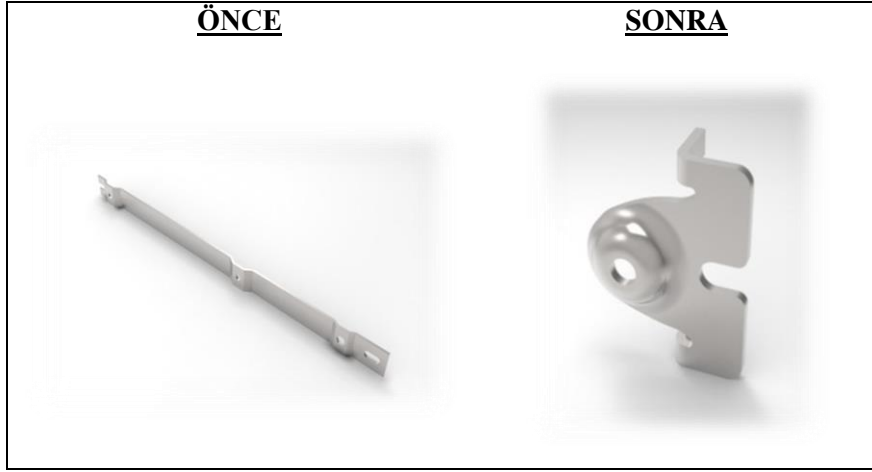
17 Boyut değişimi: Tek parça olarak kullanılan mevcut makas alt bağlantı parçasında (530x30x3 mm) hammadde tasarrufu için ölçü değişimleri yapılmıştır. Yeniden boyutlandırılan ‘Makas Destek Parçası’ 65x50,5x3 mm olacak şekilde üç ayrı özdeş parçadan oluşmaktadır (Şekil 4).

14 Küresel yapma: Düz hatlı parçalar ve yüzeyler kavisli hale getirilerek yeni bir tasarım yapılmıştır. Böylece düz yüzeylerden küresel yüzeylere geçiş yapılarak metal sac parça mukavemeti artırılmıştır.

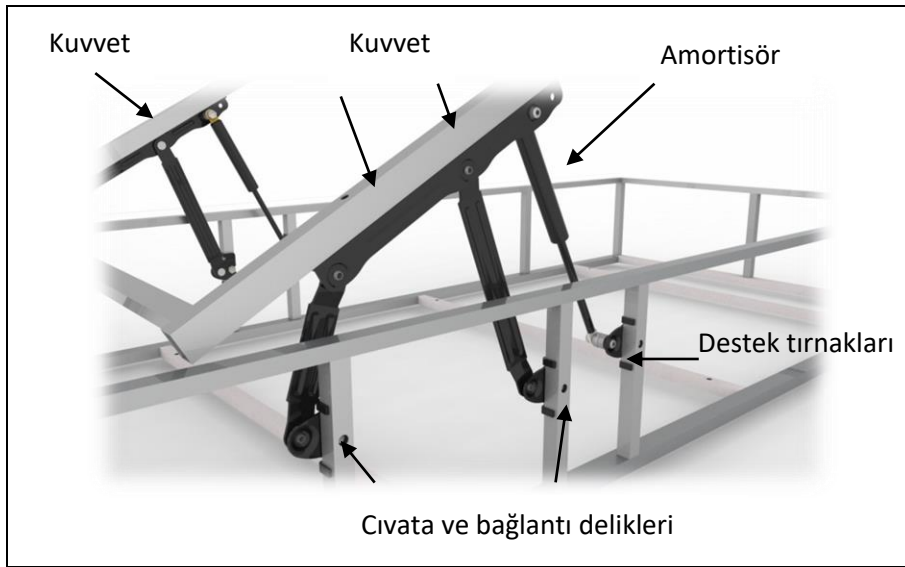
9 Öncü karşıt eylem: Mekanizmanın kapatılması için bazanın üst kapağında uygulanan kuvvetleri aşan karşı kuvvetler gerekir. Etki eden kuvvet ‘Makas Alt Bağlantı Parçasının’ bağlı olduğu cıvata deliklerini kesmeye ve ilişkili metal profilleri eğmeye zorlar. İstenmeyen bu kuvvet etkisini azaltmak için de ‘Destek Tırnakları’ yeni mekanizmada yer alır. Ayrıca etki eden kuvvetler düz olan bir parçayı dönme hareketine zorlar. Destek tırnakları ile bu problem de ortadan kalkar (Şekil 5).

15 Dinamiklik: Bir bütünü ilişkili hareket yetenekli alt parçalara bölmeyi içerir. Mevcut ‘Makas Destek Alt Bağlantı Parçası’ tek parça saçtan imal edilmiştir ve makas ayna parçaları ile amortisör bu parçaya eş eksenli deliklerden birleştirilir. Bu birleşme şekli yerine yeni tasarlanan parçada her ayna parçası ve amortisör bağlanan birbirine göre hareket edebilen üç ayrı (sağlam) parçaya ayrılması ile daha dinamik bir durum oluşur.

Eski ve uzun süredir kullanan sistem ile bu araştırma kapsamında geliştirilen yöntem ile tasarlanan daha sağlam ve kullanışlı sistem Şekil 4 ve Şekil 5’te açık seçik görülmektedir. Bu yeni tasarım ile imal edilen ürünler hem daha güvenilir hem de daha uzun ömürlü olabilecektir.



Şekil 4. Makas alt bağlantı parçası perspektif görünüşü



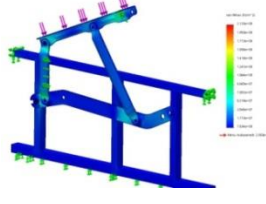
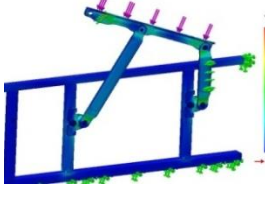
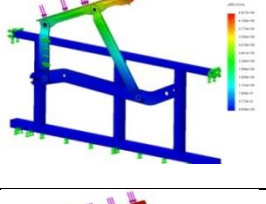
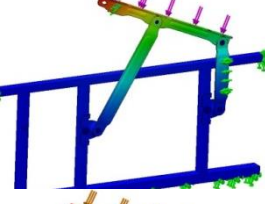

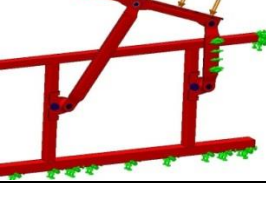
Şekil 5. Yatak bazası metal iskeleti ve yeni tasarım makas mekanizması destek tırnakları

4. ANALİZ VE BULGULAR (ANALYSIS AND FINDINGS)

4.1. Baza Makas sistemi Analizi (Baza Scissors System Analysis)

Analizde, sektörde yaygın olarak kullanılan baza makas sistemi örnek alınmıştır (Tablo 5). Mevcut ve yeni geliştirilen makas mekanizmalarına ait sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan statik analizleri yapılmıştır. Mekanizmanın baza üst kapağı açık halde iken kapatılması durumunda 750 N büyüklüğünde amortisör kuvvetinin bir saniyede karşılaması (aşması) gerekmektedir. Montaj kesiti sanal ortamda kurgulanarak gerilme, sehim ve emniyet katsayıları belirlenmiştir (Tablo 5). Tablodan da görüldüğü gibi yeni sistemde küresel mafsallardan dolayı, birim alana düşen kuvvet 212 N'dan 122 N'a düşerek 90 N azalmıştır. En büyük sehim değeri köşebentte oluşmakta olup, mevcut sistemde 4.5 mm iken, geliştirilen sistemde aynı nokta oluşan sehim 2.92 mm'ye düşmüş ve 1.58 mm daha az sehim oluşmuştur. Gerilme ve sehim değerlerindeki bu iyileşmeler sistemin güvenliğine de yansımıştır. Emniyet katsayısı mevcut sistemde 1,1 iken yeni sistemde 1,9 olarak belirlenmiş ve sistem daha güvenli hale gelmiştir. Tüm bu sonuçlar da araştırmaya kapsamında uygulanan yeni yöntemin etkinliğini göstermektedir.

Tablo 5. Mevcut ve yeni baza mekanizmaların gerilme, sehim ve emniyet katsayısı karşılaştırması

Faktör	Mevcut makas	Geliştirilen makas	Açıklama	İyileşme %
Gerilme			Mevcut: Maksimum gerilme 212 Mpa amortisör bağlantı deliğinde oluşmaktadır. Yeni: Aynı noktada 122 Mpa	42
Sehim			Mevcut: Maksimum sehim köşebentte oluşmakta ve 4.5 mm Yeni: Aynı noktada 2,92 mm	35
Emniyet katsayısı			Mevcut: 1.1 Yeni: 1.9	74.5

4.2. Baza Alt Destek Parçası (Bottom Support Part of Baza)

Baza makas mekanizmasındaki hareketsiz cismin hacminde yapılan iyileşmenin ağırlığa dönüştürülmüş hali Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Baza makas mekanizmasında önce, sonra ve fark bilgileri

No	Mevcut Makas Mekanizması	Kalınlık(mm)	Önce Ağırlık-gr	Sonra Ağırlık- gr	Fark Ağırlık-gr
1	Küçük Ayna	3	112	112	---
2	Büyük Ayna	3	212	212	---
3	Köşebent Parça	2.5	272	272	---
4	Makas Alt Destek Parçası	3	410	174	236
Toplam			1006	770	236

Mevcut makas mekanizması montaj hali ağırlık olarak ele alındığında (yalnızca metal saclar) toplamda 1006 gr gelmektedir. Baza yatağında sağ ve sol olmak üzere toplamda 2 adet mekanizma kullanılmakta olup bunlara bir takım adı verilmektedir. Böylece bir takımındaki toplam tasarruf $2 \times 236 = 472$ gr olarak belirlenmiştir. Bu değer seri üretimde ve çok sayıda parçada ne kadar önemli olduğu açıktır.

4.3. Takım Mekanizma Maliyeti (Tooling Mechanism Cost)

Mevcut mekanizma takımı boyama ve montaj işçiliklerinde de %23 oranında tasarruf sağlanmıştır. Bu mekanizmanın yatak bazalarında kullanılmasıyla baza metal iskeletlerinden de ikişer adet 225 – 250 mm boyunda 20x20x0,9 profiller de çıkarılmaktadır (tasarruf sağlanan toplam maliyet 1,125 TL). Bu profiller mevcut mekanizmanın alt destek bağlantı parçasına destek sağlamakta olup ve yeni tasarımda bu profiller gerek duyulmamaktadır. Böylece Bazada toplam ağırlık azalması 688 gr ve toplam maliyet kazancı ise yaklaşık 4,00 TL (makas takımı için 2,76 ve profillerden 1,125 TL) olarak hesaplanmıştır

Türkiye Odalar Borsalar Birliği (TOBB) sanayi veri tabanından alınan bilgiye göre sırası ile Kayseri ve Türkiye “yatak destekleri (yaylı veya çelik tel ağı ahşap veya metal iskeletler, ahşap latalı döşenmiş somya bazaları, divanlar dahil üretim kapasitesi” 4,735,424 ve 17,849,486 adettir [21]. Bu ürünlerin minimum %70’inde ise makas sistemi kullanılmaktadır [21]. Makale kapsamında tanıtılan yeni tasarımın bu somya bazalarında kullanılması halinde yıllık elde edilecek maddi kazanç ve malzeme tasarrufu Tablo 7’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Böylece araştırmada uygulanan yeni ve inovatif tasarım çözümleri verecek yöntemlerin ne denli etkin ve güçlü olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 7. Kayseri ve Türkiye baza üretim kapasitesine göre yıllık tasarruf (4,00 TL/adet esas alınarak)

Sıra	Üretim yeri	Üretim miktarı (adet/yıl)	Toplam kazanç (TL/yıl)	Malzeme tasarrufu (ton/yıl)
1	Kayseri	3,300,000	13,200,000,00	2270.40
2	Türkiye	12,500,000	50,000,000,00	8600

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Tasarım sürecinde, beyin fırtınasını ve TRIZ’in birlikte kullanılabilirliği gösterilmiştir. TRIZ ile beyin fırtınası birlikte teknolojilerde ve diğer alanlarda da yaratıcı problem çözme için yapısal bir metodoloji sunmaktadır. Tasarımcı, müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılamak üzere, bu iki tekniğin birlikte kullanılması halinde hem bir ekibin kolektif (müşterek) düşünme ve fikirler geliştirmesinden hem de çok büyük bir patent çözümündeki bilgi/tecrübe birikiminden faydalanabilir. Bu sayede, yeni ürün geliştirme sürecinde önemli çelişkileri giderebilecek bir tasarım çözümüne ulaşması mümkün olabilir. Yeni ürün tasarımı ya da geliştirilmesi tekniklerin birlikte kullanımı ile daha iyi, daha hızlı ve daha düşük maliyette olabilmektedir. Makalede bu yöntem kullanılarak yapılan yeni bir baza makas kaldırma sistemi daha güvenli, daha düşük maliyette ve ağırlıkta geliştirilmiştir. Yeniden tasarlanarak boyutlandırılan baza makas kaldırma sistemi güvenilirliğinde yaklaşık %73 artma, ağırlığında %23.5 azalma ve maliyetinde ise %33 azalma sağlanmıştır. Bu sonuçlar da araştırma kapsamında geliştirilen yöntem ve bu kullanılarak örnek tasarımın ne denli etkin ve etkileyici olduğunu göstermektedir. Tanıtılan bu yöntem kullanımı konusunda tecrübe kazanılması ile zamanla çok daha özgün ve mükemmel tasarımlar yapılabilecektir. TRIZ halihazırda tüm dünyada ve hemen hemen bütün büyük/önemli firmalar tarafından hem tasarım hem de ürün geliştirme amacı ile kullanılmaktadır (ülkemizde bu konu yeni yeni tanınmaktadır). Bu yöntemin bir de beyin fırtınası yöntemi ile birleştirilmesi ve tasarım çözümlerinde kullanılması bütünlük yöntemler olarak daha mükemmel çözümler sağlayabilecektir.

Bu araştırma kapsamında TRIZ araçlarından sadece Çelişki Matrisi ve 40 yaratıcı çözüm prensibi ele alınmış ve kullanılmıştır. Ancak TRIZ araçları bu yöntemden çok daha fazla ve karmaşık yöntemleri de içermektedir. Bundan sonra ve bu araştırmanın devamı mahiyetinde yapılacak çalışmalarda başka TRIZ araçları da (Madde alan analizi, 76 standart çözüm prensibi, ARIZ, BIOTRIZ gibi) incelenecek ve tasarım sürecine dahil edilmeye çalışılacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

TOBB-Sanayi Veri tabanından verilerin titizlikle seçilerek alınmasında katkı sağlayan Kayseri Sanayi Odası yetkilileri ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Terninko J, Zusman A, and Zlotin B., Systematic innovation: an introduction to TRIZ (theory of inventive problem solving), CRC press, ISBN 9781574441116, Published April 15, 1998.
- [2] Montecchi T and Russo D, Knowledge based approach for formulating TRIZ contradictions, Procedia engineering, 131, 451-463, 2015.
- [3] Altshuller G., 40 principles, TRIZ keys to innovation: Technical Innovation Center, Inc., 2002,

- [4] Retseptor G, 40 inventive principles in quality management, The TRIZ Journal, 2003.
- [5] Wits WW, Vaneker TH, and Souchkov V, editors. Full immersion TRIZ in education. Proceedings of the 10th ETRIA World Conference; 2010.
- [6] Harlim J and Belski I, Learning TRIZ: Impact on confidence when facing problems, Procedia engineering, 131, 95-103, 2015.
- [7] Vincent JF, Bogatyreva OA, Bogatyrev NR, Bowyer A, and Pahl A-K, Biomimetics: its practice and theory, Journal of the Royal Society Interface, 3, 471-482, 2006.
- [8] Bariani PF, Berti GA, and Lucchetta G, A combined DFMA and TRIZ approach to the simplification of product structure, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 218, 1023-1027, 2004.
- [9] Ensarioğlu C, Çakır MC, and Çavdar K, editors. Yenilikçi yaratıcı problem çözme tekniğinin (TRIZ) montaj için tasarım alanına uygulanması. TİMAK-Tasarım ve İmalat Analiz Kongresi; Balıkesir-Türkiye, 26-28 Nisan 2006.
- [10] Mayda M and Borklu HR, Development of an innovative conceptual design process by using Pahl and Beitz's systematic design, TRIZ and QFD, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 8, 1-12, 2014.
- [11] Mayda M and Börklü H, Yeni ve inovatif bir kavramsal tasarım işlem modeli ile su filtresi tasarımı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 2, 169-180, 2014.
- [12] Mutlu H and Yapanmış BE, Design of a New Bed Base Mechanism System, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 9, 64-72, 2017.
- [13] Osborn AF., Applied imagination(Revised edition). New York: Charles Scribner's Sons Press, 1957.
- [14] Altshuller G., The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity: Technical innovation center, Inc., 1999.
- [15] Jovanović D, Petković D, and Banić M, TRIZ method application in development of a solar tracker, Journal of Mechanical Engineering Design, 12, 41-50, 2009.
- [16] The Altshuller Institute TRIZ studies. What is TRIZ?, 14-April 2012, Available from: http://www.aitriz.org/index.php?option=com_content&&task=view&id=18&Itemid=32.
- [17] Skir J, TRIZ puzzles and examples: part 1, the tiny car, The TRIZ Journal, 1998.
- [18] Shulyak L, Three steps for solving an inventive problem, in 40 principles-TRIZ keys to technical innovation, TRIZ tools, Vol. 1, Technical Innovation Center, The TRIZ Journal, 107-108., 2001.
- [19] TRIZ 40 Principles. [20-June-2019]; Available from: http://www.triz40.com/aff_Principles_TRIZ.php.
- [20] Lin S.Y. and Wu C.T., Application of TRIZ inventive principles to innovate recycling machine, Advances in Mechanical Engineering, DOI: 10.1177/1687814016647303, 8, 1-8, 2016.
- [21] TOBB Sanayi Veritabanı. Haziran 2019, Available from: http://sanayi.tobb.org.tr/index_pass.php. (Erişim Tarihi: 15.06.2019)

Optimization of sales plans in closed-loop supply chains with non-stationary consumer behavior

Emre Nadar

Bilkent University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 06800, Bilkent/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 07/03/2019

Revision 22/07/2019

Accepted: 06/08/2019

Highlights

- Controlling sales to delay product diffusion for a remanufacturable durable good
- Formulation of a DP algorithm for the sales planning problem
- Rejection of some initial demand if brand loyalty or remanufactured item demand drops over time

Keywords

Closed-loop supply chains
 Remanufacturing
 Sales planning
 Dynamic programming

In this study, we consider a manufacturer who sells new and remanufactured versions of a product over a finite life cycle. Demand arises according to the Bass diffusion process. The manufacturer may delay product diffusion by controlling sales. We formulate a dynamic programming (DP) algorithm for the manufacturer's sales planning problem and conduct numerical experiments to analyze the impacts of non-stationary consumer behavior on the optimal sales plan that may involve partial demand fulfilment in certain time periods.

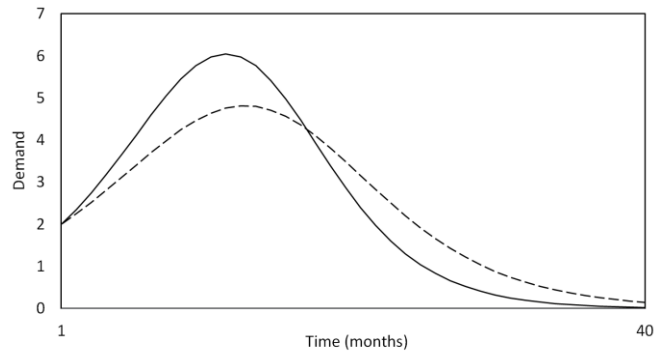


Figure A. New product diffusion for two different sales plans.

Purpose: We study the sales planning problem for a manufacturer who offers new and remanufactured versions of a durable good over a finite life cycle. The manufacturer may manipulate product diffusion by controlling sales, in order to improve the total remanufacturing volume in the long run. We investigate the impacts of non-stationary consumer behavior on the optimal sales plan that may involve partial demand fulfilment in certain time periods.

Theory and Methods: We develop a dynamic model in which demand follows the Bass diffusion process, end-of-use products required for remanufacturing are constrained by earlier sales, and the customers' brand loyalty and the remanufactured item demand vary over time. The objective of the manufacturer is to find the sales plan that maximizes its total profit from sales of new and remanufactured items over the entire selling horizon. We propose the use of a DP algorithm to solve this optimization problem for industrial-scaled instances.

Results: With our DP algorithm, we conduct numerical experiments and investigate how the optimal sales plans change with respect to the parameters of the diffusion process and consumer behavior. Numerical results reveal that the total amount of demand that is immediately met is lower if the customer brand loyalty or the remanufactured item demand decreases over time. Also, the consumer behavior has a little effect on remanufacturing volumes when the end-of-use returns are limited.

Conclusion: If the manufacturer introduces a new product with distinct design and/or features, but similar products appear in later stages of the life cycle, both the customer brand loyalty and the remanufactured item demand are expected to drop over time. In such environments, it is profitable to delay product diffusion by rejecting a significant amount of demand in very early stages of the life cycle.



Tüketici davranışlarının zamanla değiştiği kapalı devre tedarik zincirlerinde satış planı eniyilemesi

Emre NADAR

Bilkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06800, Bilkent/ANKARA

Öz

Bu çalışmada, yeni ve yeniden imal edilen olmak üzere iki farklı şekilde satılabilen ürünlerin satış planını eniyileme problemi ele alınmaktadır. Ürün talep eğrisi, literatürde yaygın olarak kullanılan ve gerçek verilerle birçok dayanıklı ürün için geçerliliği onaylanmış Bass yayılım sürecini takip etmektedir. Üretici belirli dönemlerde belirli taleplerin karşılanmasını geciktirerek yayılım sürecini yavaşlatabilmektedir. Satılan ürünlerin bir kısmı belirli bir süre kullanıldıktan sonra üreticiye geri dönerek yeniden imalata hazır hale gelmektedir. Yayılım sürecinin yavaşlatılarak yeniden imal edilen ürün talebinin kullanılmış ürün arzıyla daha etkin bir şekilde eşleştirilmesi üretici açısından daha kazançlı olabilmektedir. Müşterinin ürünün markasına (veya üreticisine) bağlılığı ve yeniden imal edilen ürün talebi zamanla değişebilmektedir. Bu satış planı eniyileme problemini makul ölçekli örneklerde çözebilen bir dinamik programlama algoritması önerilmektedir. Sayısal çalışmalarda bu algoritma kullanılarak en iyi satış politikalarının yayılım süreci ve tüketici davranışı parametrelerine göre değişimi incelenmiştir. Müşterinin markaya bağlılığının veya yeniden imal edilen ürün talebinin zamanla azalmasının, yeniden imalattan daha fazla gelir elde etmek için zamanında karşılanan toplam talep sayısını azalttığı gözlenmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 07/03/2019

Düzeltilme: 22/07/2019

Kabul: 06/08/2019

Anahtar Kelimeler

Kapalı devre tedarik zincirleri

Yeniden imalat

Satış planlama

Dinamik programlama

Keywords

Closed-loop supply chains

Remanufacturing

Sales planning

Dynamic programming

Optimization of sales plans in closed-loop supply chains with non-stationary consumer behavior

Abstract

In this study, we study the sales plan optimization problem for a manufacturer who can offer both new and remanufactured versions of a product. Demand follows the Bass diffusion process that is widely used in the literature and has been validated with real data for many durable goods. The manufacturer may slow down the diffusion process by delaying the fulfillment of a certain amount of demand in certain time periods. Some of the products sold in earlier periods are returned to the manufacturer in later periods and become available for remanufacturing. The manufacturer may be better off by slowing down the diffusion process to better match the demand for remanufactured products with the used product supply. Customers' loyalty to the brand (or manufacturer) of the product and the demand for remanufactured products may vary over time. We propose the use of a dynamic programming algorithm to solve this optimization problem for industrial-scaled instances. With this algorithm we conduct numerical experiments and investigate how the optimal sales policies change with respect to the parameters of the diffusion process and consumer behavior. Numerical results reveal that if the customer loyalty to the brand or the demand for remanufactured products decreases over time, the total amount of demand that is immediately met drops in anticipation of generating more revenue from remanufacturing.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tüketici davranışını anlamak, yöneylem araştırması ve yönetim bilimi alanlarındaki araştırmacılar için her zaman bir zorluk olmuştur. Bass [1], tüketicilerin piyasaya yeni sürülen bir ürünü satın alma zamanlamasını açıklayan bir yayılım modeli geliştirerek tüketici davranışını inceleyen literatüre önemli bir katkıda bulundu. Bu yayılım modelinde, ürünü satın alan tüketiciler “yenilikçi” ve “taklitçi” olmak üzere iki farklı gruba ayrılır. Yenilikçiler, diğer tüketicilerden bağımsız bir şekilde ürünü satın alırlar. Ancak taklitçiler ürünü önceden satın alanlardan öğrenerek etkilenirler. Dolayısıyla yayılım sürecinin ilk dönemlerinde yenilikçilerin sonraki dönemlerde taklitçilerin sayısının fazla olması beklenir. Bu yayılım modelinde, bir

tüketicinin herhangi bir dönemde ürünü satın alma olasılığı önceden satın alan müşterilerin sayısı ile doğrusal olarak artmaktadır. Bu yayılım modeliyle, Bass [1] birçok farklı dayanıklı ürün grubu için ürün yaşam döngüsü boyunca satış miktarlarını az hatayla tahmin edebilen matematiksel bir formül geliştirmiştir. Ayrıntılar için Bass'a [2] bakınız.

Bass yayılım modeli satış planı eniyileme probleminde yaygın olarak kullanılmaktadır [3-7]. Ancak, Bass yayılım modelinin kapalı devre tedarik zincirlerinde satış planlaması üzerindeki etkileri hakkında çok az şey bilinmektedir. Geleneksel tedarik zincirlerinden farklı olarak, kapalı devre tedarik zincirlerinde tüketicilerin kullandığı ürünlerin bir kısmı üretici tarafından toplanır. Toplanan ürünlerin yeniden imalatı veya geri dönüşümüyle üretici bir yandan atık miktarını sınırlayan yasal düzenlemelere uyum sağlayabilmekte diğer yandan da kazanç elde edebilmektedir [8]. Yeniden imalat yönteminde toplanan ürün, tekrar kullanılmayacak bileşenleri tamir edilerek veya yeni bileşenlerle değiştirilerek, yeni ürüne benzer bir duruma getirilir [9]. Literatürde özellikle son yirmi yılda kapalı devre tedarik zincirlerinin yönetimiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların kapsamlı literatür taramaları da bulunmaktadır [10-16].

Nadar vd. [17] yeniden imalatın mümkün olduğu ürünler için satış planı eniyileme problemini Bass yayılım modelini kullanarak ele almışlardır. Nadar vd. [17] Bass yayılım modeli parametrelerine (yenilikçi ve taklitçi katsayıları), tüketici davranışı parametrelerine (müşterinin ürünün markasına/üreticisine bağlılığını, yeniden imal edilen ürün talebini ve kullanılan ürünün üreticiye iade oranını ifade eden parametreler) ve üreticinin imalat sisteminin parametrelerine (yeni ürün kârlılığı ve yeniden imal edilen ürün kârlılığı) bağlı olarak, bazı talepleri belirli dönemlerde karşılamamanın ve böylece yayılım sürecini yavaşlatmanın kârlı olabileceği durumları ortaya koymuşlardır. Yeniden imal edilen ürün satışının yeni ürün satışından daha kârlı olması durumunda, yayılım süreci yavaşlatılarak yeniden imal edilen ürün talebi kullanılmış ürün arzıyla yüksek oranlarda eşleştirilebilir ve üreticinin toplam kazancı artabilir. Ancak Nadar vd. [17] çalışmalarında tüketici davranışlarının durağan olduğunu varsaymışlardır.

Bu çalışmada, müşterinin ürünün markasına bağlılığının ve yeniden imal edilen ürün talebinin zamanla değişebileceği bir ortamda satış planı eniyileme problemi ele alınmaktadır. Ürün talebi sonlu yaşam döngüsü boyunca Bass yayılım modeline göre oluşmaktadır. Bu yayılım modeli ele alınan problemi oldukça karmaşık doğrusal olmayan bir probleme dönüştürmektedir. Makul ölçekli problemlerde en iyi satış politikalarını hesaplayabilmek için bir dinamik programlama algoritması önerilmektedir. Bu algoritmanın kullanıldığı sayısal bir çalışmayla, zamanla değişen tüketici davranışlarının en iyi satış politikalarına etkileri incelenmektedir. Müşterinin markaya bağlılığının zamanla azaldığı bir senaryoda, bu bağlılığın zamanla arttığı senaryoya kıyasla, yeniden imalattan kazancı artırmak amacıyla ilk dönemlerde daha fazla talebin zamanında karşılanmadığı görülmüştür. Ayrıca yeniden imal edilen ürün talebinin zamanla azaldığı başka bir senaryoda, bu talebin zamanla arttığı senaryoya kıyasla, yine ilk dönemlerde daha fazla talebin reddedildiği görülmüştür.

2. SATIŞ PLANI ENİYİLEME PROBLEMİ (SALES PLAN OPTIMIZATION PROBLEM)

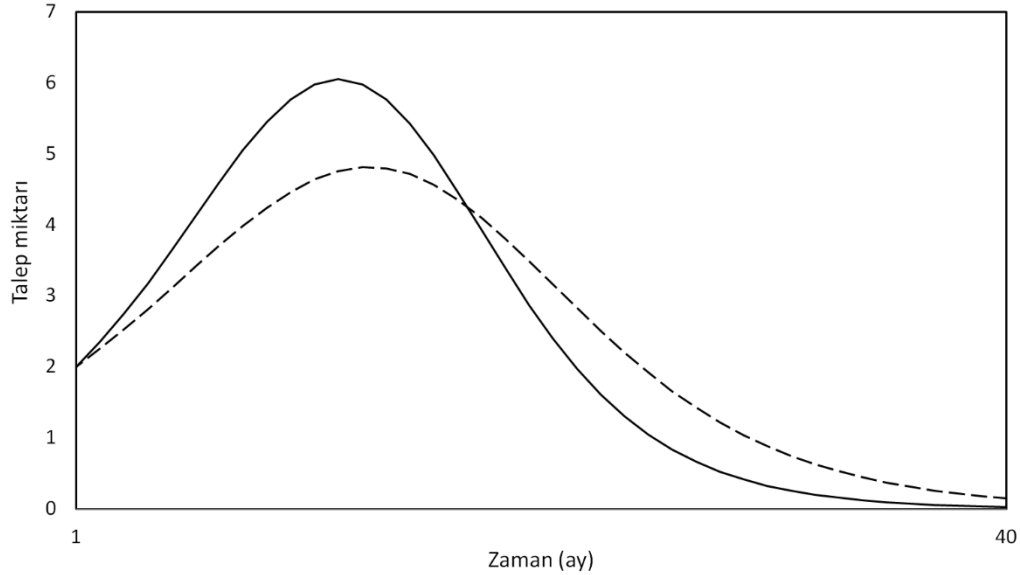
Piyasaya yeni sürülen ve yeniden imalatı mümkün olan sonlu bir yaşam döngüsüne sahip bir ürün düşünelim. Örnek olarak birkaç yıl boyunca satışı yapılan bir akıllı telefon düşünülebilir. Akıllı telefon üreticilerinden Apple yeniden imal edilen ürünlerini web sayfasından satmaktadır (www.apple.com/shop/refurbished/iphone). Her müşteri yaşam döngüsü boyunca bu üründen en fazla bir birim satın alır. Ürünün talebi Bass yayılım sürecini takip ederek zamanla değişir.

Bass'ın [1] önerdiği yayılım sürecinde toplam tüketici sayısı m , yenilikçilerin sayısının toplam tüketici sayısına oranı p ve yayılma etkisinin büyüklüğü q ile ifade edilir. Ayrıca p yenilikçi katsayısı ve q taklitçi katsayısı olarak da bilinmektedir. Her talebin her dönem anında karşılandığı durumda, $t \geq 1$ dönemindeki talep şu şekilde hesaplanır:

$$\tilde{d}_t = \left(p + \frac{q\tilde{D}_t}{m} \right) (m - \tilde{D}_t)$$

öyle ki \tilde{D}_t t dönemine kadar gerçekleşen toplam satış hacmidir ($\tilde{D}_1 = 0$ ve $\tilde{D}_t = \sum_{k=1}^{t-1} \tilde{d}_k$, $\forall t > 1$). Literatürde $\left(p + \frac{q\tilde{D}_t}{m} \right)$ terimi herhangi bir t döneminde bir tüketicinin ürünü satın alma olasılığı olarak ifade

edilir ve çok büyük bir t için $\widetilde{D}_t \rightarrow m$ olduğundan $p + q \leq 1$ olduğu varsayılır. $(m - \widetilde{D}_t)$ terimi ise herhangi bir t döneminde henüz talepte bulunmamış ancak gelecekte talepte bulunacak müşteri sayısını vermektedir. Bass yayılım sürecine göre zamanla değişen taleplerin örnek bir gösterimi için Şekil 1'e bakınız.



Şekil 1. İki farklı satış planı için talep eğrileri: Çizgili eğri her dönem her talebin karşılandığı durumdaki talepleri (Bass'ın [1] önerdiği yayılım süreci) ve kesik çizgili eğri ilk gözlemlenen taleplerin %75'inin karşılandığı ama geçmişten gelen taleplerin karşılanmadığı durumdaki talepleri göstermektedir. $p = 0.02$, $q = 0.20$ ve $m = 100$.

Bu çalışmada önerilen yayılım modelinde, Bass yayılım sürecinin aksine, üretici istediği zaman istediği miktarda talebi reddedebilir. t döneminde gerçekleşen satış hacmini s_t olarak ifade edelim. Üretici ayrıca mevcut herhangi bir kullanılmış ürünü yeniden imal edip tekrar satışa sunabilir. t döneminde yeni ve yeniden imal edilen ürünler için gerçekleşen satış miktarlarını sırasıyla n_t ve r_t ile ifade edelim. Sonuç olarak $s_t = n_t + r_t$. Bass yayılım süreci bu duruma uyarlanarak $t \geq 1$ dönemindeki talep şu şekilde hesaplanır:

$$d_t = \left(p + \frac{qS_t}{m} \right) (m - D_t) \quad (1)$$

öyle ki S_t t dönemine kadar gerçekleşen toplam satış hacmidir ($S_1 = 0$ ve $S_t = \sum_{k=1}^{t-1} s_k$, $\forall t > 1$) ve D_t t dönemine kadar gözlemlenen toplam talep miktarıdır ($D_1 = 0$ ve $D_t = \sum_{k=1}^{t-1} d_k$, $\forall t > 1$). Yukarıdaki talep hesabında taklitçiler, önceden gözlemlenen taleplerden değil, sadece önceden gerçekleşen satışlardan etkilenmektedirler. Ancak eğer t döneminde bir müşteri ürünü talep ediyorsa, satın alma gerçekleşsin veya gerçekleşmesin, yayılım sürecinin kapsadığı müşteri sayısı bir artar ve yayılım sürecinin ileride kapsayacağı müşteri sayısı bir azalır. Yukarıdaki talep hesabı satış planı eniyileme probleminde yaygın olarak kullanılmaktadır [3-7]. (Bu talep hesabı Bass yayılım sürecinden farklılık gösterdiği için, t dönemindeki talep miktarı ve t dönemine kadar gözlemlenen toplam talep miktarı, Bass yayılım sürecinin tanımında kullanılan \widetilde{d}_t ve \widetilde{D}_t parametreleri yerine, d_t ve D_t parametreleri ile ifade edilmiştir.) Her dönem her talebin anında karşılanması durumunda, bu yayılım modeli Bass yayılım sürecine indirgenir ($d_t = \widetilde{d}_t$ ve $D_t = \widetilde{D}_t$). Bu yayılım modeline göre örnek iki farklı satış planı için zamanla değişen taleplerin gösterimi için Şekil 1'e bakınız. Taleplerin bir kısmının karşılanmaması durumunda yayılım sürecinin yavaşladığı Şekil 1'de görülmektedir.

Herhangi bir t döneminde talebi karşılanmayan müşterilerin α_t oranlık kesimi $t + 1$ dönemine kadar ürünü talep etmeyi sürdürür. $1 - \alpha_t$ oranlık kesimi ise sonraki dönemlerde ürünü bir daha talep etmez. Satış

planlama literatüründe daha kısıtlayıcı varsayımlar görülmektedir [3-7, 17]. α_t oranının yüksek olması müşterilerin ürünün markasına veya üreticisine güçlü bir şekilde bağlı olduğu anlamına gelmektedir.

Herhangi bir t döneminde satılan ürünlerin β_i oranlık kesimi tüketiciler tarafından kullanılıp üreticiye iade edilir ve bu kullanılmış ürünler yeniden imalat sürecini tamamlayıp $t + i$ döneminde satışa hazır hale getirilir, $\forall i \geq 1$, ve $\sum_i \beta_i \leq 1$. Herhangi bir dönemde satılan ürünlerin $1 - \sum_i \beta_i$ oranlık kesimi toplanamaz veya yeniden imal edilemez. Literatürde benzer veya daha kısıtlayıcı varsayımlar bulunmaktadır [17-21]. Akıllı telefon piyasasında yapılan bir çalışmaya göre akıllı telefon kullanıcılarının yaklaşık %12'si kullanılmış telefonlarını ya geri dönüşüm yapan şirketlere satmakta ya da yeni nesil akıllı telefon almak için üreticiyle takas etmektedir [22]. Başka bir çalışmaya göre de akıllı telefon kullanıcılarının yaklaşık %20'si telefonlarını bir yıl ve %41'i iki yıl kullanmaktadır [23]. Bu çalışmalar, sonlu yaşam döngüsü boyunca yeniden imalata girebilecek önemli miktarlarda kullanılmış ürün toplanabileceğini göstermektedir.

Herhangi bir t döneminde ilk defa ürün talep eden müşterilerin γ_t oranlık kesimi varsa yeniden imal edilen ürün almak ister. Bu kesimden bir müşteri yeniden imal edilen ürün yoksa yeni ürün almak ister. Geriye kalan $1 - \gamma_t$ oranlık kesim ise sadece yeni ürün almak ister. Tüm müşteriler ürünün yaşam döngüsü boyunca ilk tercihlerine sadık kalırlar. Deneysel çalışmalar, bu tür tüketici gruplarının varlığını doğrular [19, 20, 24-27].

Yalnızca yeni ürün almayı düşünen ve t döneminden önce talepleri karşılanmamış ancak t dönemde talepleri devam eden müşterilerin sayısını b_{1t} ile ifade edelim. Yeniden imal edilen ürünleri öncelikle tercih eden ve t döneminden önce talepleri (yeni veya yeniden imal edilen ürünlerle) karşılanmamış ancak t dönemde talepleri devam eden müşterilerin sayısını b_{2t} ile ifade edelim. Herhangi bir dönemde gerçekleşebilecek toplam satış hacmi o dönemde gözlemlenen toplam talep ile sınırlıdır:

$$0 \leq s_t = n_t + r_t \leq d_t + b_{1t} + b_{2t}, \forall t \geq 1. \quad (2)$$

Ayrıca herhangi bir dönemde gerçekleşebilecek yeniden imal edilen ürünlerin toplam satış hacmi o dönemde yeniden imal edilen ürünlerin talebiyle sınırlıdır:

$$0 \leq r_t \leq \gamma_t d_t + b_{2t}, \forall t \geq 1. \quad (3)$$

Yalnızca yeni ürün almayı düşünen müşteriler yeniden imal edilen ürünleri öncelikle tercih eden müşterilerden önce ürün alımlarını gerçekleştirirler. Bu makul varsayım altında b_{1t} ve b_{2t} şu şekilde hesaplanır: Herhangi bir $t \geq 1$ döneminde, yalnızca yeni ürün almayı düşünen müşterilerin talebi yeni ürün satış rakamından fazla veya bu rakama eşit ise $((1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} \geq n_t)$ ve yeniden imal edilen ürünü öncelikle tercih eden müşterilerin talebi de yeniden imal edilen ürün satış rakamından fazla veya bu rakama eşit ise $(\gamma_t d_t + b_{2t} \geq r_t)$, yukarıdaki varsayım gereği mevcut yeni ürünlerin tamamı yeni ürün müşterileri tarafından alınmıştır ve talebi karşılanmayan hem yeni ürün müşterilerinin hem de yeniden imal edilen ürün müşterilerinin α_t oranlık kesimleri bir sonraki dönemde ürünü talep etmeye devam eder $(b_{1(t+1)} = \alpha_t((1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} - n_t)$ ve $b_{2(t+1)} = \alpha_t(\gamma_t d_t + b_{2t} - r_t)$). Ancak, yeniden imal edilen ürün talebinin bir kısmının yeni ürünle karşılanması planlanır ise (bu koşul altında $\gamma_t d_t + b_{2t} > r_t$ olmak zorundadır), yukarıdaki varsayım gereği yeni ürün satış rakamının yalnızca yeni ürün almayı düşünen müşterilerin talebinden fazla olması gerekir $((1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} < n_t)$. Bu koşullar altında, bu dönemde yeni ürün müşterilerinin tamamının talebi karşılanır $(b_{1(t+1)} = 0)$ ve karşılanmayan taleplerin tamamı yeniden imal edilen ürün müşterilerine aittir $(b_{2(t+1)} = \alpha_t(d_t + b_{1t} + b_{2t} - n_t - r_t))$. Sonuç olarak, $b_{11} = b_{21} = 0$ olduğu varsayılarak, herhangi bir $t \geq 1$ döneminde

$$\begin{aligned} & (b_{1(t+1)}, b_{2(t+1)}) \\ &= \begin{cases} (\alpha_t((1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} - n_t), \alpha_t(\gamma_t d_t + b_{2t} - r_t)), & (1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} \geq n_t \text{ ve } \gamma_t d_t + b_{2t} \geq r_t \text{ ise,} \\ (0, \alpha_t(d_t + b_{1t} + b_{2t} - n_t - r_t)), & (1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} < n_t \text{ ve } \gamma_t d_t + b_{2t} > r_t \text{ ise.} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

Herhangi bir dönemde gerçekleşebilecek yeniden imal edilen ürünlerin toplam satış hacmi o dönemde kullanılmış ürün stoku ile de sınırlıdır. t döneminde yeniden imalata hazır kullanılmış ürün miktarını e_t ile ifade edersek

$$0 \leq r_t \leq e_t, \forall t \geq 1. \quad (5)$$

Yeniden imalata hazır kullanılmış ürün miktarları şu şekilde hesaplanır: $e_1 = 0$ ve her bir $t \geq 1$ döneminde

$$e_{t+1} = e_t - r_t + \sum_{i=1}^t \beta_i s_{t+1-i}. \quad (6)$$

Yeni ürünün birim üretim maliyetini c_n ile satış fiyatını ise p_n ile tanımlayalım. Yeniden imal edilen ürünün birim üretim maliyetini c_r ile satış fiyatını ise p_r ile tanımlayalım. $p_n \geq c_n$ ve $p_r \geq c_r$ olduğunu varsayıyoruz. Ürünün T dönemden oluşan yaşam döngüsü boyunca üreticinin toplam kazancını eniyileme problemi aşağıdaki gibi ifade edilir: (1)-(6) numaralı kısıtlar altında

$$\max_{n_1, \dots, n_T, r_1, \dots, r_T} \sum_{t=1}^T [(p_n - c_n)n_t + (p_r - c_r)r_t].$$

Bu eniyileme problemi (1) numaralı kısıttaki talep hesabından dolayı doğrusal olmayan bir problemdir ve çözümü zordur. Bu problemin parametreleri ve karar değişkenleri Tablo 1'de özetlenmektedir.

En kârlı satış planını $(n_1^*, \dots, n_T^*, r_1^*, \dots, r_T^*)$ ile ifade edelim. $p_n - c_n \geq p_r - c_r$ ise yeniden imal edilen ürünü tercih eden ama bulunmaması durumunda yeni ürün alacak müşterilerin taleplerini yeniden imal edilen ürünle karşılamanın ekonomik getirisi yoktur. Dolayısıyla yeniden imal edilen ürünlerin satış hacmini artırmak amacıyla belirli dönemlerde belirli miktarlarda talep karşılamayarak yayılım sürecini yavaşlatmak kazanç sağlamayacaktır. Aksine herhangi bir talebin karşılanmaması daha kârlı olan yeni ürün satışlarını azaltabilir. Sonuç olarak $n_t^* = \bar{d}_t$ ve $r_t^* = 0, \forall t \geq 1$. $p_n - c_n \geq p_r - c_r$ olduğunda eniyileme probleminin çözümü bilindiğinden, $p_n - c_n < p_r - c_r$ olduğunu varsayıyoruz. Yeniden imalat yeni malzeme ihtiyacını ve enerji tüketimini genellikle azalttığından bu varsayım birçok durumda sağlanmaktadır [24, 25, 28].

Tablo 1. Problem parametreleri ve değişkenleri.

Parametreler	Açıklamalar
p	Yenilikçi katsayısı
q	Taklitçi katsayısı
m	Toplam müşteri sayısı
α_t	t döneminde talebi karşılanmayan müşterilerden $t + 1$ dönemde ürünü talep etmeye devam edenlerin oranı
β_i	t döneminde ürün alan müşterilerden $t + i$ dönemde kullanılmış ürünlerini iade edenlerin oranı
γ_t	t döneminde ilk defa ürün talep eden müşterilerden yeniden imal edilen ürün talep edenlerin oranı
p_n	Yeni ürün birim satış fiyatı
c_n	Yeni ürün birim üretim maliyeti
p_r	Yeniden imal edilen ürün birim satış fiyatı
c_r	Yeniden imal edilen ürün birim üretim maliyeti
Karar değişkenleri	Açıklamalar
n_t	t döneminde yeni ürün satış hacmi
r_t	t döneminde yeniden imal edilen ürün satış hacmi
Durum değişkenleri	Açıklamalar
D_t	t dönemine kadar gözlemlenen toplam talep miktarı
S_t	t dönemine kadar gerçekleşen toplam satış hacmi
$e_t = (e_t^0, e_t^1, \dots, e_t^{T-1})$	t döneminde kullanılmış ürün miktarı ve t döneminden önce ürün alan tüketiciler tarafından t döneminden sonraki her bir dönemde iade edilecek toplam ürün miktarı
$b_t = (b_{1t}, b_{2t})$	t döneminden önce talepleri karşılanmamış ancak t döneminde talepleri devam eden yeni ürün ve yeniden imal edilen ürün müşterilerinin sayıları

3. ÇÖZÜM YÖNTEMİ (SOLUTION METHOD)

Satış planı eniyileme problemini çözebilmek için dinamik programlama (DP) algoritması geliştirilebilir: t döneminin başında stokta bulunan kullanılmış ürün miktarını e_t^0 ile ifade edelim. t döneminden önce ürün alan tüketiciler tarafından $t + k$ dönemde iade edilecek toplam kullanılmış ürün miktarını ise e_t^k ile ifade

edelim, $\forall k \in \{1, \dots, T-1\}$. $(e_t^0, e_t^1, \dots, e_t^{T-1})$ vektörünü de e_t ile ifade edelim. $e_1 = (0, 0, \dots, 0)$ olduğu varsayılarak e_{t+1} , $\forall t \geq 1$, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$e_{t+1}^k = \begin{cases} e_t^0 - r_t + e_t^1 + \beta_1 s_t, & k = 0 \text{ ise,} \\ e_t^{k+1} + \beta_{k+1} s_t, & k \in \{1, \dots, T-2\} \text{ ise,} \\ \beta_T s_t, & k = T-1 \text{ ise.} \end{cases} \quad (7)$$

Yukarıdaki gösterimle (5) numaralı kısıt aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$0 \leq r_t \leq e_t^0, \forall t \geq 1. \quad (8)$$

(b_{1t}, b_{2t}) vektörünü b_t ile gösterelim. DP algoritmasında yeniden imalata hazır kullanılmış ürün miktarı hesabının her dönem yapılabilmesi için durum uzayında e_t bulunmalıdır. Buna ilaveten, her bir dönemde talep hesabının yapılabilmesi için durum uzayında D_t , S_t ve b_t bulunmalıdır. Bu durum değişkenleri ile DP özimizelemesi (1), (2), (3), (4), (7) ve (8) numaralı kısıtlar altında aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$v_t(D_t, S_t, b_t, e_t) = \max_{n_t, r_t} \{(p_n - c_n)n_t + (p_r - c_r)r_t + v_{t+1}(D_{t+1}, S_{t+1}, b_{t+1}, e_{t+1})\}, \forall t \leq T,$$

ve $v_{T+1}(\dots) = 0$ öyle ki $D_{t+1} = D_t + d_t$ ve $S_{t+1} = S_t + s_t$. Bu özimizelemenin çözümüyle bulunacak $v_1(0, \dots, 0)$ T dönemden oluşan ürün yaşam döngüsü boyunca erişilebilecek en yüksek toplam kâra eşittir. Bu özimizelemenin çözümü için durum ve karar değişkenlerinin tamsayı olduğu varsayılmaktadır. Herhangi bir $t \geq 1$ döneminde, yayılım sürecinde talep hesabının doğrusal olmayan yapısı ve α_t , β_i ve γ_t parametrelerinin varlığı durum değişkenlerinin sürekli uzaydan değerler almalarına sebep olabilmektedir. Durum değişkenleri sürekli uzaydan değerler aldıklarında en yakın tamsayıya yuvarlanmaktadır. DP özimizelemesinin durum ve karar değişkenleri Tablo 1'de özetlenmektedir.

Büyük ölçekli satış planlama problemleri için, DP algoritmasında çok sayıda durum değişkeni ve her bir durum değişkeninin alabileceği çok sayıda farklı değer bulunmaktadır. Ayrıca her bir durumda alınabilecek karar sayısı çok fazladır. Dolayısıyla DP algoritmasının mevcut haliyle büyük ölçekli problemlerin çözümü mümkün değildir. Makul ölçekli problemleri çözebilmek ve böylece en iyi satış planlarını ve değişken tüketici davranışlarının bu planlara etkilerini inceleyebilmek için problemle ilgili birtakım sadeleştirmeler düşünülebilir. Kapalı devre tedarik zincirinin ve yayılım sürecinin temel dinamiklerini koruyarak aşağıdaki sadeleştirmeleri öneriyoruz:

- Eğer $i > 1$ ise $\beta_i = 0$ olduğunu varsayıyoruz. Bu varsayım altında, DP algoritmasının durum uzayında e_t vektörü yerine bu vektörün ilk elemanı olan e_t^0 değişkenini tutmak yeterlidir. Böylece durum değişkeni sayısı önemli ölçüde azalır.
- Yeniden imal edilen ürün taleplerinin stokta kullanılmış ürün bulunması durumunda hemen karşılanacağını varsayıyoruz. Bu taleplerin karşılanmaması durumunda yayılım sürecindeki değişimle gelecekte taleplerin karşılanmasında kullanılmış ürünlerden daha fazla yarar sağlanıp sağlanmayacağı net değildir. Ancak yine bu taleplerin karşılanmaması durumunda bir kısmı kaybedilecek diğer kısmı da gelecekte ya yeniden imal edilen ürünle ya da daha az kârlı yeni ürünle karşılanacaktır. Bu açıdan bakıldığında bu taleplerin mevcut kullanılmış ürünlerle hemen karşılanmasının makul bir varsayım olduğu görülebilir. Buna ilaveten, sadece yeni ürün almak isteyen müşterilerin taleplerinin de hemen karşılanacağını varsayıyoruz. Bu taleplerin karşılanmaması durumunda, her ne kadar yayılım süreci olumlu veya olumsuz etkilenecekse de bir kısmı kaybedilecek diğer kısmı da gelecekte tekrar sadece yeni ürünle karşılanabilecektir. Dolayısıyla bu taleplerin hemen karşılanmasının da makul bir varsayım olduğu görülebilir. Bu iki varsayım altında, DP algoritmasının karar uzayı, yeniden imal edilen ürün tercih eden ancak stokta kullanılmış ürün bulunmadığı için yeniden imal edilen ürün sunulamayan müşterilerden kaçına yeni ürün satışı yapılacağı (veya kaçına satış yapılmayacağı) kararına indirgenir. Ayrıca durum uzayında b_t vektörü yerine bu vektörün ikinci elemanı olan b_{2t} değişkenini tutmak yeterlidir.

Yukarıdaki sadeleştirmeler DP algoritmasının boyutlarını önemli ölçüde düşürmektedir. Bunlara ek olarak, en iyi satış politikasının bulunmasına engel olmadan DP algoritmasının durum uzayını küçültecek birtakım eşitsizlikler yazılabilir: Her bir t döneminde $D_t \leq \bar{D}_t$, $S_t \leq D_t$, $e_t^0 \leq \beta_1 S_t$, $b_{2t} \leq \max\{\alpha_1, \dots, \alpha_T\} \max\{\gamma_1, \dots, \gamma_T\} D_t$ ve $b_{2t} \leq \max\{\alpha_1, \dots, \alpha_T\} (D_t - S_t)$. Yukarıdaki sadeleştirmeler ve tüm

bu eşitsizliklerle, DP algoritması makul ölçekli örnekler için birkaç dakika içinde çözülebilmekte ve en iyi satış politikası hesaplanabilmektedir.

4. SAYISAL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION)

Değişken tüketici davranışlarının en iyi satış politikalarına etkilerini araştırmak için dört farklı senaryo ele alıyoruz:

- İlk senaryoda γ_t sabitken α_t zamanla artmaktadır. Yenilikçi bir müşterinin ürün talebi karşılanmadığında piyasada benzer işleve sahip başka bir ürüne, taklitçi bir müşteriye kıyasla, daha hızlı yönelmesi beklenebilir. Bu sebeple ve yenilikçi müşteri sayısının ilk dönemlerde taklitçi müşteri sayısından fazla olması sonraki dönemlerde ise bu durumun tersinin geçerli olması nedeniyle α_t zamanla artabilir.
- İkinci senaryoda γ_t sabitken α_t zamanla azalmaktadır. Ürün ilk satışa sunulduğunda piyasada benzer işleve sahip başka ürünler bulunmayabilir. Dolayısıyla ilk dönemlerde hemen karşılanmayan talepler kaybedilmezken sonraki dönemlerde başka üreticiler tarafından benzer ürünlerin piyasaya sürülmesiyle hemen karşılanmayan talepler kolay kaybedilebilir. Bu sebeple α_t zamanla azalabilir.
- Üçüncü senaryoda α_t sabitken γ_t zamanla artmaktadır. Yeniden imal edilen ürünlere yenilikçi müşterilerin daha az taklitçi müşterilerin ise daha fazla ilgi göstermesi beklenebilir. Bu sebeple ve yenilikçi müşteri sayısının ilk dönemlerde taklitçi müşteri sayısının da sonraki dönemlerde fazla olması nedeniyle γ_t zamanla artabilir.
- Son senaryoda α_t sabitken γ_t zamanla azalmaktadır. Ürün ilk satışa sunulduğunda piyasada benzer ürünlerin bulunmaması durumunda ilk dönemlerde fiyata duyarlı müşteriler yeniden imal edilen ürün talep edebilir. Ancak sonraki dönemlerde benzer işleve sahip ve görece ucuz ürünlerin piyasaya sürülmesiyle yeniden imal edilen ürün talebi önemli oranda düşebilir. Bu sebeple γ_t zamanla azalabilir.

Yukarıdaki dört senaryo ile ilgili sayısal çalışmalarda kullanılmak üzere literatürden faydalanılarak örnekler oluşturuldu. Bu çalışmadakine benzer bir problemde, Nadar vd. [17] birtakım pazar ve tüketici araştırmalarının sonuçlarından elde ettikleri gerçekçi parametre değerleriyle sayısal örneklerini oluşturmuşlardır. Bu çalışmadaki örneklerde benzer parametre değerleri kullanılmıştır. Bu örnekler ve sayısal sonuçlar için Tablo 2, Tablo 3, Şekil 2 ve Şekil 3'e bakınız.

Öncelikle yeniden imalat satış miktarlarının parametrelere ve senaryolara göre nasıl değiştiğini inceliyoruz: Her bir senaryoda, yayılım süreci parametrelerinin (p ve q) yeniden imalat satış rakamlarına etkisinin oldukça az olduğu görülmektedir. Diğer yandan, her bir senaryoda, kullanılmış ürünlerin iade oranı (β_1) artarken yeniden imalat satış rakamları da artmaktadır.

İlk iki senaryo karşılaştırıldığında, α_t 'nin azalması veya artmasının yeniden imalat satış rakamlarına etkisinin oldukça az olduğu görülmektedir. Bu durum kullanılmış ürün iadelerinin oldukça kısıtlı olmasından kaynaklanmaktadır. Belirli dönemlerde belirli talepleri reddederek yayılım sürecinin akışını değiştirmek ve böylece yeniden imalat satış rakamını artırmak hedeflenir. Ancak kısıtlı kullanılmış ürün stoku bu hedefin önünde engel teşkil etmektedir. Son iki senaryo karşılaştırıldığında, β_1 küçükken γ_t 'nin azalması veya artmasının yeniden imalat satış rakamlarına etkisinin oldukça az olduğu, ancak β_1 büyükken γ_t 'nin azalmasının yeniden imalat satış rakamlarını artırdığı görülmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi, β_1 küçükken yeniden imalat satış rakamını artırmanın önünde kullanılmış ürün iadeleri engel teşkil etmektedir. Ancak β_1 büyükken, yani kullanılmış ürün stoku kısıdının etkisi azaldığında, yeniden imal edilen ürün talebinin ilk dönemlerde yüksek olması ve bunun yanı sıra yayılım sürecine göre ürün satışlarının ve dolayısıyla kullanılmış ürün iadelerinin de ilk dönemlerde yüksek olması yeniden imalat satış rakamlarına olumlu yansımaktadır.

Hemen karşılanmayan talep miktarlarının da parametrelere ve senaryolara göre nasıl değiştiğini inceliyoruz: Her bir senaryoda, yayılım süreci parametreleri (p ve q) artarken karşılanmayan talep rakamlarının artabildiği veya azalabildiği görülmektedir. Bu durumun en önemli sebeplerinden biri olarak Bass yayılım sürecine göre talebin oldukça karmaşık doğrusal olmayan yapısı gösterilebilir. Diğer yandan, her bir senaryoda, kullanılmış ürünlerin iade oranı (β_1) artarken karşılanmayan talep rakamları

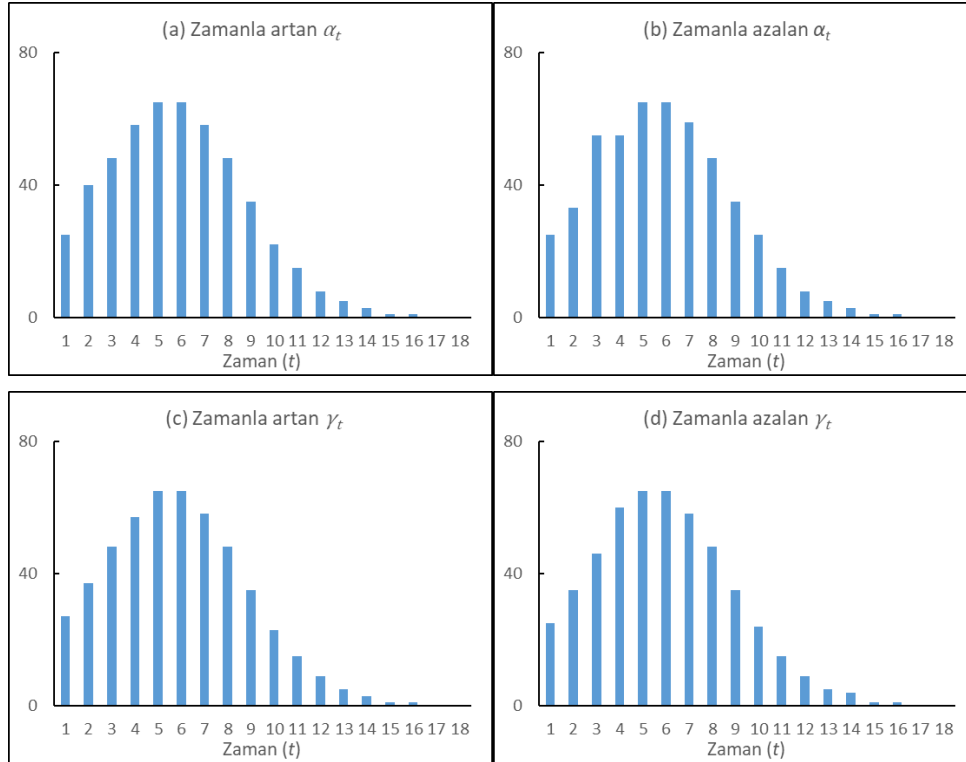
azalmaktadır. Karşılınmayan taleplerin olumsuz yanlarından biri gelecekteki kullanılmış ürün iadelerini azaltacak olmasıdır. β_1 büyükken bu olumsuz sonucun etkisi düşük olacağı için ilk bakışta daha fazla talep reddetmenin kârlı olacağı düşünülebilir. Ancak, β_1 büyükken, yüksek miktarda yeniden imal edilen ürün talebi karşılanabilmektedir. Dolayısıyla, β_1 büyükken, kullanılmış ürün kısıdı nedeniyle yeniden imal edilen ürünle karşılanamayan talep miktarı da azdır. Bu nedenle ve talebin hemen karşılanmaması halinde kaybedilme riski dikkate alındığında daha az talep reddedilmektedir.

Tablo 2. En iyi satış planlarına dair sonuçlar. $m = 500$, $T = 20$, $p_r - c_r = 3$, $p_n - c_n = 1$, $\gamma_t = 0.2$, $\forall t$.

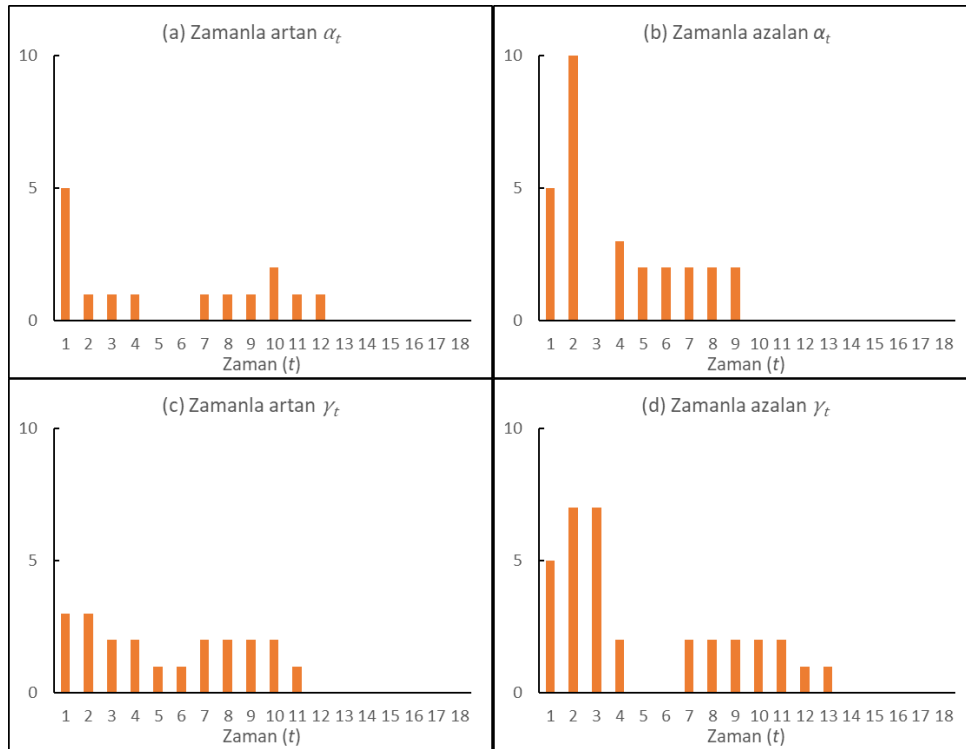
		Zamanla artan α_t : $\alpha_t = 0.6 + 0.3 \left(\frac{t-1}{19}\right), \forall t$.				Zamanla azalan α_t : $\alpha_t = 0.9 - 0.3 \left(\frac{t-1}{19}\right), \forall t$.				
	p	q	Yeni ürün satış	Yeniden imalat satış	Reddedilen talep	Toplam kazanç	Yeni ürün satış	Yeniden imalat satış	Reddedilen talep	Toplam kazanç
$\beta_1 = 0.10$	0.04	0.20	427	52	23	583	428	52	24	584
		0.30	439	55	27	604	443	54	34	605
		0.40	446	53	18	605	446	53	32	605
	0.06	0.20	436	54	25	598	434	55	39	599
		0.30	442	53	30	601	444	54	30	606
		0.40	441	54	15	603	444	54	28	606
	0.08	0.20	442	53	26	601	440	54	40	602
		0.30	444	53	19	603	445	53	31	604
		0.40	443	52	23	599	443	54	40	605
$\beta_1 = 0.15$	0.04	0.20	406	74	13	628	404	75	23	629
		0.30	419	77	25	650	420	77	22	651
		0.40	425	74	10	647	424	75	25	649
	0.06	0.20	415	76	19	643	414	77	23	645
		0.30	421	76	11	649	422	77	23	653
		0.40	424	75	7	649	423	76	21	651
	0.08	0.20	418	77	14	649	417	78	21	651
		0.30	425	74	8	647	422	77	25	653
		0.40	423	74	9	645	421	76	31	649

Tablo 3. En iyi satış planlarına dair sonuçlar. $m = 500$, $T = 20$, $p_r - c_r = 3$, $p_n - c_n = 1$, $\alpha_t = 0.8$, $\forall t$.

		Zamanla artan γ_t : $\gamma_t = 0.1 + 0.1 \left(\frac{t-1}{19}\right), \forall t$.				Zamanla azalan γ_t : $\gamma_t = 0.2 - 0.1 \left(\frac{t-1}{19}\right), \forall t$.				
	p	q	Yeni ürün satış	Yeniden imalat satış	Reddedilen talep	Toplam kazanç	Yeni ürün satış	Yeniden imalat satış	Reddedilen talep	Toplam kazanç
$\beta_1 = 0.10$	0.04	0.20	428	52	22	584	428	52	29	584
		0.30	442	54	19	604	443	53	33	602
		0.40	446	53	33	605	447	52	19	603
	0.06	0.20	438	53	21	597	438	53	36	597
		0.30	447	52	34	603	444	53	32	603
		0.40	443	53	22	602	444	53	30	603
	0.08	0.20	443	53	28	602	443	53	29	602
		0.30	447	52	31	603	445	52	36	601
		0.40	448	50	19	598	445	52	27	601
$\beta_1 = 0.15$	0.04	0.20	413	67	3	614	411	67	21	612
		0.30	430	67	5	631	427	70	16	637
		0.40	433	66	11	631	426	71	16	639
	0.06	0.20	427	65	3	622	422	69	23	629
		0.30	434	64	10	626	428	71	11	641
		0.40	437	61	7	620	427	71	15	640
	0.08	0.20	432	64	3	624	427	69	16	634
		0.30	437	60	8	617	428	70	16	638
		0.40	441	58	3	615	428	71	9	641



Şekil 2. En iyi satış planlarına göre aylık gerçekleşen satış miktarları. $m = 500$, $p = 0.06$, $q = 0.40$, $T = 18$, $\beta_1 = 0.1$, $p_r - c_r = 3$, $p_n - c_n = 1$. (a) $\alpha_t = 0.6 + 0.3 \left(\frac{t-1}{17}\right)$, $\gamma_t = 0.2$; (b) $\alpha_t = 0.9 - 0.3 \left(\frac{t-1}{17}\right)$, $\gamma_t = 0.2$; (c) $\alpha_t = 0.8$, $\gamma_t = 0.1 + 0.1 \left(\frac{t-1}{17}\right)$; (d) $\alpha_t = 0.8$, $\gamma_t = 0.2 - 0.1 \left(\frac{t-1}{17}\right)$.



Şekil 3. En iyi satış planlarına göre aylık karşılanmayan talep miktarları. $m = 500$, $p = 0.06$, $q = 0.40$, $T = 18$, $\beta_1 = 0.1$, $p_r - c_r = 3$, $p_n - c_n = 1$. (a) $\alpha_t = 0.6 + 0.3 \left(\frac{t-1}{17}\right)$, $\gamma_t = 0.2$; (b) $\alpha_t = 0.9 - 0.3 \left(\frac{t-1}{17}\right)$, $\gamma_t = 0.2$; (c) $\alpha_t = 0.8$, $\gamma_t = 0.1 + 0.1 \left(\frac{t-1}{17}\right)$; (d) $\alpha_t = 0.8$, $\gamma_t = 0.2 - 0.1 \left(\frac{t-1}{17}\right)$.

Birinci ve ikinci senaryolar karşılaştırıldığında, α_t 'nin azalmasının hemen karşılanmayan talep miktarını genellikle artırdığı görülmektedir. Bu artışın altında yatan sebep Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde anlaşılabilir: α_t 'nin azaldığı senaryoda ilk iki dönemde önemli miktarda talep reddedilmektedir. Kullanılmış ürün ilk dönemde bulunmazken ikinci dönemde kısıtlı sayıda bulunur. Bu dönemlerde yeniden imal edilen ürün taleplerinin çoğu hemen karşılanamayacağından ve yüksek α_t sayesinde hemen karşılanmayan taleplerin kaybedilme riski düşük olduğundan bu dönemlerde önemli miktarda talep reddedilmektedir. Üçüncü ve dördüncü senaryolar karşılaştırıldığında, γ_t 'nin azalmasının karşılanmayan talep rakamlarını genellikle artırdığı görülmektedir. Bu artışın altında yatan sebep yine Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde anlaşılabilir: γ_t 'nin azaldığı senaryoda ilk üç dönemde önemli miktarda talep reddedilmektedir. Bu dönemlerde kullanılan ürün sayısı kısıtlıdır ve γ_t yüksek olduğundan çok sayıda yeniden imal edilen ürün talebi gözlemlenir. Dolayısıyla bu dönemlerde fazla sayıda talep reddedilmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada yeniden imalatın yapıldığı bir kapalı devre tedarik zincirinde satış planlama problemi ele alınmıştır. Üretici bazı talepleri hemen karşılamayarak yayılım sürecini yavaşlatmayı hedefleyebilir çünkü böylece gelecekte sayısı artacak kullanılan ürün iadeleriyle yeniden imal edilen ürün taleplerinin etkin bir şekilde eşleştirilmesi mümkün olabilir. Diğer yandan hemen karşılanmayan bir talebin kaybedilme riski vardır ve her bir kayıp satış gelecekte kullanılan ürün iade sayısını azaltmaktadır. Yayılım sürecinin doğrusal olmayan yapısı ve kapalı devre tedarik zincirine özgü yeniden imalat arz talep dinamikleri satış planlama problemini zorlaştırmaktadır. Bunlara ilaveten, bu çalışmada, tüketici davranışlarının zamanla değişebilmesine izin verilmektedir. Bu karmaşık problemin çözümü için bir DP algoritması geliştirilmiş ve birtakım makul sadeleştirmeler ve en iyi çözümü etkilemeyen kısıtlar ile bu algoritmanın durum ve karar uzayları küçültülmüştür. Böylece gerçek boyutlu problemler için en iyi satış politikalarını bulmak mümkün olmuştur. En kârlı satış politikaları incelendiğinde, kullanılan ürün iadesinin sınırlı sayıda olduğu ortamlarda tüketici davranışlarının yeniden imalat rakamlarına etkisinin az olduğu görülmüştür. Üreticinin ürünü satışa çıkardığında benzer ürünlerin piyasada olmadığı ancak sonradan muadillerinin piyasaya sürüldüğü ortamlarda hem müşterinin üreticiye bağlılığının hem de yeniden imal edilen ürün talebinin zamanla azalması beklenir. Bu tür ortamlarda, en kârlı satış politikaları altında, ilk dönemlerde önemli miktarlarda talebin anında karşılanmaması gerektiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] F. M. Bass, A new product growth for model consumer durables, *Management Science*, 15:5 (1969) 215-227.
- [2] F. M. Bass, Comments on "a new product growth for model consumer durables the bass model," *Management Science*, 50:12 Supplement (2004) 1833-1840.
- [3] T. H. Ho, S. Savin, C. Terwiesch, Managing demand and sales dynamics in new product diffusion under supply constraint, *Management Science*, 48:2 (2002) 187-206.
- [4] S. Kumar, J. M. Swaminathan, Diffusion of innovations under supply constraints, *Operations Research*, 51:6 (2003) 866-879.
- [5] W. Shen, I. Duenyas, R. Kapuscinski, New product diffusion decisions under supply constraints, *Management Science*, 57:10 (2011) 1802-1810.
- [6] T. H. Ho, S. Savin, C. Terwiesch, Note: A reply to new product diffusion decisions under supply constraints, *Management Science*, 57:10 (2011) 1811-1812.
- [7] W. Shen, I. Duenyas, R. Kapuscinski, Optimal pricing, production, and inventory for new product diffusion under supply constraints, *Manufacturing & Service Operations Management*, 16:1 (2014) 28-45.
- [8] N. Demirel, Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümünde yükseltilmiş yönetmelik hedeflerini karşılamak için ağ tasarımı ve modellenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5:3 (2017) 223-236.
- [9] A. Atasu, M. Sarvary, L. N. van Wassenhove, Remanufacturing as a marketing strategy, *Management Science*, 54:10 (2008) 1731-1746.

- [10] E. A. van der Laan, G. Kiesmüller, R. Kuik, D. Vlachos, R. Dekker, Stochastic inventory control for product recovery management, *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*, (2004) 181-220 (Springer Berlin Heidelberg).
- [11] V. D. R. Jr. Guide, L. N. van Wassenhove, Or forum – The evolution of closed-loop supply chain research, *Operations Research*, 57:1 (2009) 10-18.
- [12] M. E. Ferguson, G. C. Souza, Closed-loop supply chains: new developments to improve the sustainability of business practices, (2010) (CRC Press).
- [13] E. Akçalı, S. Çetinkaya, Quantitative models for inventory and production planning in closed-loop supply chains, *International Journal of Production Research*, 49:8 (2011) 2373-2407.
- [14] E. Hassini, C. Surti, C. Searcy, A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics, *International Journal of Production Economics*, 140:1 (2012) 69-82.
- [15] G. C. Souza, Closed-loop supply chains: a critical review, and future research, *Decision Sciences*, 44:1 (2013) 7-38.
- [16] K. Govindan, H. Soleimani, D. Kannan, Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future, *European Journal of Operational Research*, 240:3 (2015) 603-626.
- [17] E. Nadar, B. E. Kaya, K. Güler, New product diffusion in closed-loop supply chains, (2018) <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24331.34088>.
- [18] R. Geyer R, L. N. van Wassenhove, A. Atasu, The economics of remanufacturing under limited component durability and finite product life cycles, *Management Science*, 53:1 (2007) 88-100.
- [19] A. Ovchinnikov, V. Blass, G. Raz, Economic and environmental assessment of remanufacturing strategies for product + service firms, *Production and Operations Management*, 23:5 (2014) 744-761.
- [20] J. D. Abbey, J. D. Blackburn, V. D. R. Jr. Guide, Optimal pricing for new and remanufactured products, *Journal of Operations Management*, 36 (2015) 130-146.
- [21] J. D. Abbey, R. Kleber, G. C. Souza, G. Voigt, The role of perceived quality risk in pricing remanufactured products, *Production and Operations Management*, 26:1 (2017) 100-115.
- [22] Deloitte, Technology, media, and telecommunications predictions 2016.
- [23] Deloitte, Mobile consumer survey 2016 the Australian cut – Hyper connectivity: clever consumption.
- [24] A. Atasu, V. D. R. Jr. Guide, L. N. van Wassenhove, So what if remanufacturing cannibalizes my new product sales?, *California Management Review*, 52:2 (2010) 56-76.
- [25] V. D. R. Jr. Guide, J. Li, The potential for cannibalization of new products sales by remanufactured products, *Decision Sciences*, 41:3 (2010) 547-572.
- [26] A. Ovchinnikov, Revenue and cost management for remanufactured products, *Production and Operations Management*, 20:6 (2011) 824-840.
- [27] J. D. Abbey, M. G. Meloy, J. D. Blackburn, V. D. R. Jr. Guide, Consumer markets for remanufactured and refurbished products, *California Management Review*, 57:4 (2015) 26-42.
- [28] M. Matsumoto, Y. Umeda, An analysis of remanufacturing practices in Japan, *Journal of Remanufacturing*, 1:2 (2011).



Analysis of the Effect Rates of Cutting Parameters on Surface Roughness using Surface Response Method

Mustafa ÖZDEMİR¹

¹Yozgat Bozok University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Machine and Metal, 06600, Merkez/YOZGAT

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 23/07/2019

Revision 05/08/2019

Accepted: 06/08/2019

Highlights

- Influence of cutting parameters on surface roughness
- Turning of C45 manufacturing steel
- surface roughness prediction model

Keywords

Surface Roughness
Response Surface Method
Cutting Parameters
Analysis of Variance

In the study, the effect rates of independent variables (cutting speed, feed rate, cutting depth and tool nose radius) on the dependent variables (surface roughness) used during turning of C45 manufacturing steel were investigated and optimum cutting parameters were determined. Turning experiments were performed according to the L27 orthogonal (Vertical) array of the response surface method (RSM). As independent variables 3 different cutting speeds (160 m/min, 260 m/min and 360 m/min), feed rate (0.05 mm/rpm, 0.18 mm/rpm and 0.31 mm/rpm), cutting depth (0.1 mm, 0.3 mm and 0.5 mm) and tool nose radius (0.4 mm, 0.8 mm and 1.2 mm) were used. As a result of variance analysis, the effects of independent variables and the effects of interactions on dependent variables were examined.

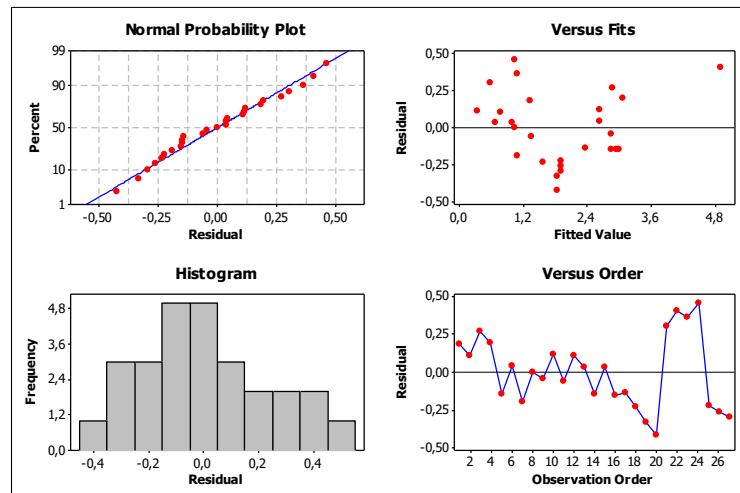


Figure A. Residual plots of model for surface roughness in cutting operation

Purpose: In the study, the effect rates of independent variables (cutting speed, feed rate, cutting depth and tool nose radius) on the dependent variables (surface roughness) used during turning of C45 manufacturing steel were investigated and optimum cutting parameters were determined.

Theory and Methods: Turning experiments were performed according to the L27 orthogonal (Vertical) array of the response surface method (RSM). As independent variables 3 different cutting speeds (160 m/min, 260 m / min and 360 m/min), feed rate (0.05 mm/rpm, 0.18 mm/rpm and 0.31 mm/rpm), cutting depth (0.1 mm, 0.3 mm and 0.5 mm) and tool nose radius (0.4 mm, 0.8 mm and 1.2 mm) were used.

Results: As a result, it was determined that the most effective independent variable on the dependent variable was the feed rate and tool nose radius, respectively, while the effect of cutting speed and cutting depth was found to be low. It was found that while the feed rate increased, the dependent variable increased and the tool nose radius decreased.

Conclusion: As a result, analysis of variance, the most effective parameters on surface roughness were determined as feed rate, tool nose radius, cutting speed and cutting depth, respectively. When independent parameters are evaluated, the effect of the cutting speed and cutting depth parameter on the results was found to be very small compared to the amount of feed and tool nose radius. When the optimization results were compared with the experimental results, it was determined that they showed high affinity to Ra, Rz and Rt by 75.30%, 67.94% and 81.65% respectively.



Yüzey Pürüzlülüğü üzerinde Kesme Parametrelerinin Etki Oranlarının Yüzey Yanıt Yöntemi Kullanarak Analizi

Mustafa ÖZDEMİR¹

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 06600, Merkez/YOZGAT

Öz

Çalışmada, C45 imalat çeliğinin tormalanması sırasında kullanılan bağımsız değişkenlerin (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve takım uç radyüsü) bağımlı değişkenler (yüzey pürüzlülüğü) üzerindeki etki oranları incelenerek, optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Tormalama deneyleri yüzey yanıt yöntemi (YYY) L27 orthogonal (dikey) dizinine göre yapılmıştır. Bağımsız değişkenler olarak 3 farklı kesme hızı (160 m/dak, 260 m/dak ve 360 m/dak), ilerleme miktarı (0.05 mm/dev, 0.18 mm/dev ve 0.31 mm/dev), kesme derinliği (0.1 mm, 0.3 mm ve 0.5 mm) ve takım uç radyüsü (0.4 mm, 0.8 mm ve 1.2 mm) kullanılmıştır. Varyans analizleri neticesinde bağımsız değişkenlerin etkileri ve etkileşimlerin bağımlı değişkene olan etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, bağımlı değişken üzerinde en etkili bağımsız değişkenin sırasıyla ilerleme miktarı ve takım uç radyüsü olduğu belirlenirken, kesme hızı ve kesme derinliğinin etkisinin az olduğu belirlenmiştir. İlerleme miktarı artarken bağımlı değişkenin arttığı, takım uç radyüsü artarken azaldığı tespit edilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 23/07/2019

Düzeltilme: 05/08/2019

Kabul: 06/08/2019

Anahtar Kelimeler

Yüzey pürüzlülüğü

Yüzey yanıt yöntemi

Kesme parametreleri

Varyans analizleri

Analysis of the Effect Rates of Cutting Parameters on Surface Roughness using Surface Response Method

Keywords

Surface Roughness

Response Surface Method

Cutting Parameters

Analysis of Variance

Abstract

In the study, the effect rates of independent variables (cutting speed, feed rate, cutting depth and tool nose radius) on the dependent variables (surface roughness) used during turning of C45 manufacturing steel were investigated and optimum cutting parameters were determined. Turning experiments were performed according to the L27 orthogonal (Vertical) array of the response surface method (RSM). As independent variables 3 different cutting speeds (160 m/min, 260 m/min and 360 m/min), feed rate (0.05 mm/rpm, 0.18 mm/rpm and 0.31 mm/rpm), cutting depth (0.1 mm, 0.3 mm and 0.5 mm) and tool nose radius (0.4 mm, 0.8 mm and 1.2 mm) were used. As a result analysis of Variance, the effects of independent variables and the effects of interactions on dependent variables were examined. As a result, it was determined that the most effective independent variable on the dependent variable was the feed rate and tool nose radius, respectively, while the effect of cutting speed and cutting depth was found to be low. It was found that while the feed rate increased, the dependent variable increased and the tool nose radius decreased.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İyi bir işlenebilirlik ve uygun yüzey pürüzlülüğü değerlerini elde etmek için optimum kesme şartlarının sağlanabilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, tezgâhının cinsi, kesici takım özellikleri, kesme şartları, kesme hızı, ilerleme miktarı kesme derinliği gibi kesme parametreleri işlenebilirliği doğrudan etkileyen parametrelerdir. Yüzey pürüzlülüğü, en önemli ürün kalitesi karakteristiğinden biridir ve işlenmiş parçaların işlevsel davranışlarında büyük öneme sahiptir. İmalat işleminde, hammaddelerin çeşitli amaçlar için kullanılacak bitmiş ürünlere dönüştürülmesi için sayısız işlem içermektedir. Pratik olarak, herhangi bir üretim işlemiyle mükemmel pürüzsüz bir yüzey elde etmek mümkün değildir. Doğru kesme şartlarında kullanılacak takım hem maliyet hem de yüzey kalitesi açısından oldukça önemlidir. Kesme şartları, kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, takım uç radyüsü en ideal şartlarda uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle, yüzey pürüzlülük değerini optimum seviyede elde etmek amacıyla bir çok araştırma yapıldığı ortaya çıkmaktadır [1-4]. Motorcu, AISI 1050 karbon çeliğinin tormalanmasında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin etkilerini araştırmak amacıyla yanıt yüzey tekniği

kullanmıştır. İstenilen yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme şartları tanımlanmıştır. Deneysel sonuçlarda ilerleme miktarının en etkili faktör olduğu belirlenmiştir [5]. Asiltürk ve arkadaşları, Taguchi ve YYY kullanarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etkisini varyans analizi kullanarak incelemiştir [6]. Çalışkan ve arkadaşları, ilerleme miktarı, kesme hızı, talaş derinliği ve kesici takım kaplamasının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerine etkilerini araştırmışlardır. L27 Taguchi deneysel tasarım yöntemini ve YYY kullanarak süreci optimize etmişlerdir [7]. Özçatalbaş, artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmiş, fakat kesme hızı artışının düşük ilerleme miktarlarında etkisinin fazla olduğunu belirtirken, artan ilerleme miktarında ise kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin azaldığını belirlemiştir [8]. Sahoo, sertleştirilmiş AISI D2 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü Taguchi ve regresyon analizi kullanarak incelemiştir. Yüzey pürüzlülüğünün tahmini için oluşturulan model L27 ortogonal dizine göre tasarlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğunu tespit etmiştir [9]. Neşeli ve diğerleri, AISI 1040 çeliğin tormalanmasında finish yüzeyi üzerinde takım geometrisinin etkisinin araştırılması üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçları YYY ile analiz edilmiştir [10]. Yaka ve arkadaşları, optimum yüzey pürüzlülük değerini elde etmek için kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği parametrelerine göre, Taguchi L9 deney tasarımı gerçekleştirmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri için regresyon ve logaritmik regresyon modeli oluşturmuştur. Elde edilen modeller ile en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu belirlenmiştir [11].

Bu çalışmada, tormalama işlemi sonucu elde edilen bağımlı değişken üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisi araştırılmıştır. YYY L27 ortogonal dizilimi kullanılarak yüzey pürüzlülüğü için seçilen bağımsız değişkenlerin etkileri ve etkileşimleri incelenerek arasındaki ilişki analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

C45 imalat çeliğinin tormalanması esnasında işleme parametreleri olarak 3 farklı kesme hızı (160 m/dak, 260 m/dak ve 360 m/dak), ilerleme miktarı (0.05 mm/dev, 0.18 mm/dev ve 0.31 mm/dev), kesme derinliği (0.1 mm, 0.3 mm ve 0.5 mm) ve takım uç radyüsü (0.4 mm, 0.8 mm ve 1.2 mm) belirlenmiştir. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra, Rz ve Rt) üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Tormalama deneyleri, maksimum devri 4500 dev/dak olan Accuway JT-150 marka CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. İşleme deneylerinde, Ø80x220 mm boyutlarında C45 malzeme kullanılmıştır. Talaş kaldırma mesafesi 20 mm olarak alınmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1’de verilmektedir.

Tablo 1. C45 imalat çeliğinin kimyasal özellikleri

C	Mn	Si	P	S
0.48	0.65	0,21	0,049	0,045

Çalışmada, TAEGUTEG kalitesinde DNMG 150604, DNMG 150608 ve DNMG 150612 FG tipi uçlar tercih edilmiştir. Takımların kesme parametrelerinin belirlenmesinde kesici takım kataloğu kullanılmıştır. Deneye geçmeden önce katalog değerlerinde kesimler yapılmış kesme parametreleri hakkında ön değerlendirme fırsatı oluşturulmuştur. Çalışmada soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Deneysel çalışmada kullanılan deney malzemesi ve yüzey pürüzlülük cihazı Şekil 1’de gösterilmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde Mahr MarSurf PS10 marka ve model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmış ve ISO 4287 standardına göre ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deneyler 3 kez tekrarlanmış olup, yüzey pürüzlülük değeri ölçümleri üç farklı noktadan alınan değerlerinin aritmetik ortalaması hesaplanarak Ra, Rz ve Rt değerleri elde edilmiştir.



Şekil 1. Deney malzemesi ve yüzey pürüzlülük cihazı

YYY, üretim sürecine etki eden işleme parametrelerinin optimize edilmesinde kullanılan etkili bir analiz yöntemidir. Bu deney tasarımı metodu kullanılarak yapılan deneylerde, deney sayısı önemli ölçüde azaltılarak malzeme ve zaman kayıpları en aza indirilmektedir [12, 13]. YYY ile yapılan modellemelerde istatistiksel ve matematiksel teknikler birlikte kullanılır. YYY ile yapılan modellemelerde genel olarak birinci derece (linear) model ikinci derece (Quadratik) model kullanılmaktadır. Birinci derece modelin formülü Denklem 1’de görülmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad 1$$

Birinci derece modelde değişkenler birbirinden etkileniyorsa yanıt polinomu Denklem 2’de görüldüğü gibi oluşmaktadır.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 \quad 2$$

Model yapısı doğrusal bir polinom değilse ikinci derece model ile çözüm aranmaktadır. Bu modele ait temel formül Denklem 3’de görülmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_{12} + \beta_{22} X_{22} + \beta_{12} X_1 X_2 \quad 3$$

Yapılan çalışmada YYY ile deney tasarımı yapılmış olup, kalite özellikleri olarak yüzey pürüzlülüğü (Ra, Rz ve Rt) esas alınmıştır. Kontrol faktörleri ise Tablo 2’de belirtilen kesme hızı (V), ilerleme (f), kesme derinliği (a) ve takım uç radyüsü (R) olarak belirlenmiştir. Her bir kontrol faktör üç seviyede tanımlanmış olup YYY Merkezi (Box-Behnken desing) L_{27} düşey dizini kullanılmıştır. YYY’ne ait L_{27} ortogonal dizin Tablo 3’de sunulmuştur. Deney sonuçlarına, varyans analizi uygulanırken bu analizde bağımsız değişkenler kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve takım uç radyüsü alınırken; bağımlı değişkenler ise, yüzey pürüzlülük değerleri (Ra, Rz ve Rt) değerleri olarak alınmıştır. Gerçekleştirilen analizler neticesinde, kesme parametrelerinin ayrı ayrı ve bir birleri ile olan etkileşimleri aynı zamanda parametreler arasındaki etkileşim incelenmiştir.

Tablo 2. Kontrol Faktörleri ve Seviyeleri

Değişkenler	Sembol	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme Hızı	V	m/dak.	160	260	360
İlerleme Miktarı	f	mm/dev	0,05	0,18	0,31
Kesme Derinliği	a	mm	0,1	0,3	0,5
Takım uç Radyüsü	R	mm	0,4	0,8	1,2

3. SAYISAL ANALİZ VE DEĞERLENDİRME (NUMERICAL ANALYSIS AND EVALUATION)

YYY L_{27} ortogonal dizine göre tasarlanan deney düzeneği ve elde edilen sonuçlar Tablo 3’te gösterilmektedir. Bağımsız değişkenlerin (Kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve takım uç radyüsü) bağımlı değişkenlere (yüzey pürüzlülüğü (Ra, Rz ve Rt)) olan etkisi deneysel ve sayısal olarak

incelenmiştir. YYY tabanlı ikinci dereceden modeller geliştirilmiştir. Elde edilen Ra, Rz ve Rt verileri kullanılarak, değişkenlerin kendi aralarında nasıl etkileşime girdiklerini, bu etkileşimlerin ise bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerini analiz etmek için Minitab 16 yazılımı kullanılarak, ANOVA (Analysis of Variance) analizi yapılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametreleri ve etkileşimlerine bağlı olarak YYY kullanılarak Ra, Rz ve Rt için elde edilen tahmini ikinci dereceden polinom denklemleri Tablo 4'te sunulmuştur. Elde edilen değerlerin birbirine yakın ve yüksek olması modelin doğruluğunun ispatlamaktadır. Ra için hesaplanan R^2 değeri % 95.04 iken, modelden anlamsız olan değişkenlerin çıkarılarak tekrar hesaplanması sonucu elde edilen $R^2(\text{adj})$ (düzeltilmiş kareler değeri) % 91.94'tür. Tahmini $R^2(\text{pred})$ % 84.95 olarak hesaplanmıştır. Yani modelin eksik veri noktalarını tahmin etmedeki gücü % 84.95'dir. R^2 ve $R^2(\text{adj})$ değerlerinin birbirine yakın ve yüksek olması geliştirilen modelin güvenilirliğini ispatlamaktadır. Rz ve Rt değerlerinde de yüksek yakınsama değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3. Yüzey Cevap Yöntemi L_{27} Ortogonal Dizin

Deney No	Kontrol Faktörleri				Deney Sonuçları		
	(V)	(f)	(a)	(R)	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt (μm)
1	160	0,05	0,3	0,8	1,521	8,916	10,306
2	360	0,05	0,3	0,8	0,451	1,991	2,993
3	160	0,31	0,3	0,8	3,137	13,633	15,663
4	360	0,31	0,3	0,8	3,27	15,508	13,624
5	260	0,18	0,1	0,4	2,706	11,627	11,977
6	260	0,18	0,5	0,4	2,673	11,084	11,247
7	260	0,18	0,1	1,2	0,904	5,505	5,471
8	260	0,18	0,5	1,2	1,034	5,09	5,152
9	160	0,18	0,3	0,4	2,81	12,602	13,08
10	360	0,18	0,3	0,4	2,751	11,652	11,921
11	160	0,18	0,3	1,2	1,292	7,75	9,969
12	360	0,18	0,3	1,2	0,89	4,528	3,547
13	260	0,05	0,1	0,8	1,029	6,73	6,782
14	260	0,31	0,1	0,8	2,809	12,404	12,941
15	260	0,05	0,5	0,8	0,72	4,039	6,798
16	260	0,31	0,5	0,8	2,834	12,285	12,424
17	160	0,18	0,1	0,8	2,24	9,688	12,949
18	360	0,18	0,1	0,8	1,339	6,117	8,658
19	160	0,18	0,5	0,8	1,498	8,564	13,856
20	360	0,18	0,5	0,8	1,423	6,817	6,598
21	260	0,05	0,3	0,4	0,899	3,254	5,312
22	260	0,31	0,3	0,4	5,294	23,432	20,452
23	260	0,05	0,3	1,2	1,443	8,18	6,75
24	260	0,31	0,3	1,2	1,512	4,89	6,086
25	260	0,18	0,3	0,8	1,682	7,668	8,668
26	260	0,18	0,3	0,8	1,643	7,299	8,599
27	260	0,18	0,3	0,8	1,611	7,727	8,906

Tablo 4. Regresyon Denklemleri ve R² değerleri

Regresyon Denklemleri	R ²	R ² (pred)	R ² (adj)
Ra =1.46737-0.00752506V+17.8606f-4.02216a +2.0528R+0.0231346Vf+0.010325Va-0.00214375VR+3.21154fa-20.7981Rf+0.509375Ra	% 95.04	% 84.95	% 91.94
Rz = 5.0806-0.0380582V+70.2795f-12.4462a+16.025R+0.169231Vf+ 0.0228Va-0.0142VR+24.7308fa-112.827Rf+0.4Ra	% 95.25	% 86.28	% 92.28
Rt =1.56186-0.0045499V+63.0348f+8.4115a+14.1324R+0.101423Vf-0.0370875Va-0.0328937VR-5.125fa-75.9808Rf+1.28438Ra	% 95.38	% 85.92	% 92.49

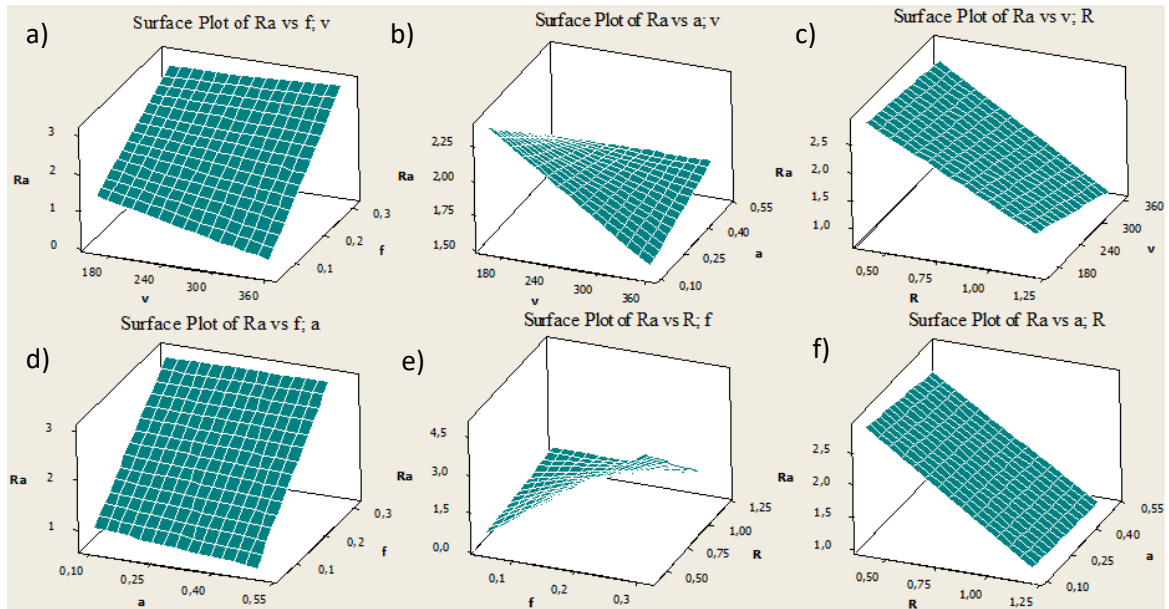
Varyans analizi sonrasında, doğrusal model+etkileşimleri (linear+intractions) incelenmiş ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etki oranları Tablo 5'te gösterilmektedir. Tablo 5-a, 5-b ve 5-c incelendiğinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra, Rz ve Rt) üzerindeki etkileri p<0.05 anlamsallık değeri bakımından incelendiğinde V, f ve R'nin anlamlı olduğu a'nın ise anlamsız olduğu tespit edilmiştir. Bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimler incelendiğinde Ra üzerinde f*R, Rz de V*f ve f*R ve Rt' de ise V*f, V*R ve f*R etkileşimlerinin anlamlı olduğu diğer değişkenlerin ise p anlamsallık değeri bakımından anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki katkı oranları incelendiğinde varyans analiz sonuçlarına göre Ra, Rz ve Rt üzerinde en etkili bağımsız değişken, ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir. İlerleme miktarını Ra, Rz ve Rt'ye sırasıyla, %46.50, %38.27 ve %34.62 etki ettiği tespit edilmiştir. İkinci etkili kesme parametresi olan takım uç radyüsü ise; %28.74 Ra, %22.6 Rz ve %26.57 Rt'ye katkı sağlamıştır. V ve a parametrelerinin Ra ve Rz üzerinde katkı oranı sırasıyla %1.6, %0.2 ve %3.36, %0.28 olurken, Rt üzerinde ise V'nin %15.74, a ise %0.14 oranında katkı sağladığı belirlenmiştir.

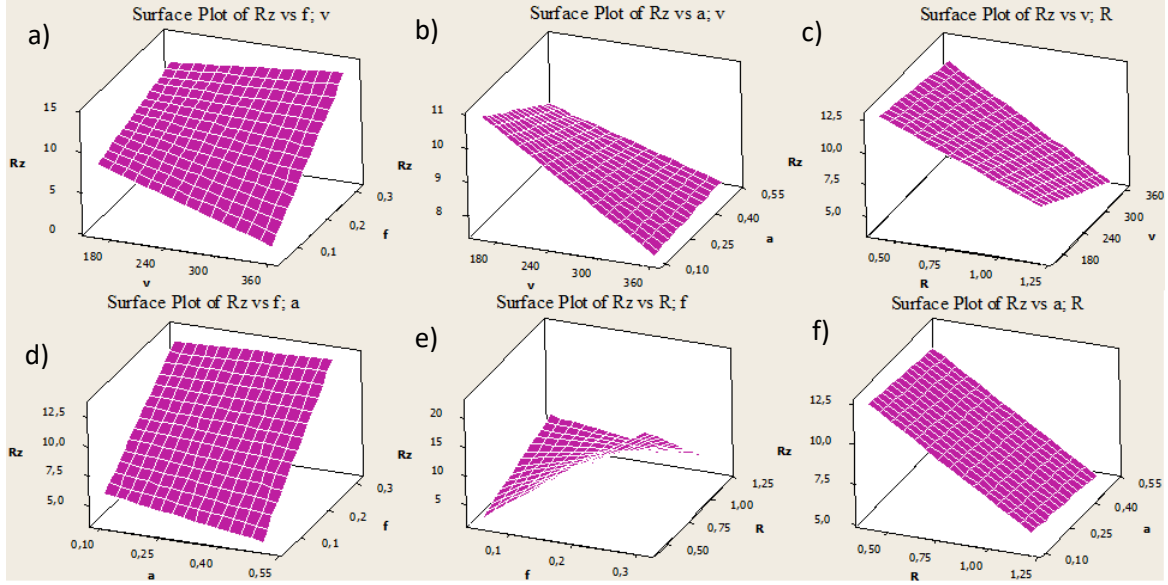
Tablo 5. Varyans Analiz sonuçları

Kaynak	SD	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	%Cont.
a) Ra							
V	1	0,4697	0,4697	0,4697	5,16	0,037	1,60
f	1	13,6384	13,6384	13,6384	149,96	0,000	46,50
a	1	0,0595	0,0595	0,0595	0,65	0,430	0,20
R	1	8,4303	8,4303	8,4303	92,69	0,000	28,74
V*f	1	0,3618	0,3618	0,3618	3,98	0,063	1,23
V*a	1	0,1706	0,1706	0,1706	1,88	0,190	0,58
V*R	1	0,0294	0,0294	0,0294	0,32	0,577	0,10
f*a	1	0,0279	0,0279	0,0279	0,31	0,587	0,10
f*R	1	4,6786	4,6786	4,6786	51,44	0,000	15,95
a*R	1	0,0066	0,0066	0,0066	0,07	0,790	0,02
Hata	16	1,4552	1,4552	0,0909			4,96
Toplam	26	29,3279					100
b) Rz							
V	1	17,618	17,618	17,618	11,33	0,004	3,36
f	1	200,426	200,426	200,426	128,90	0,000	38,27
a	1	1,464	1,464	1,464	0,94	0,346	0,28
R	1	118,491	118,491	118,491	76,21	0,000	22,63

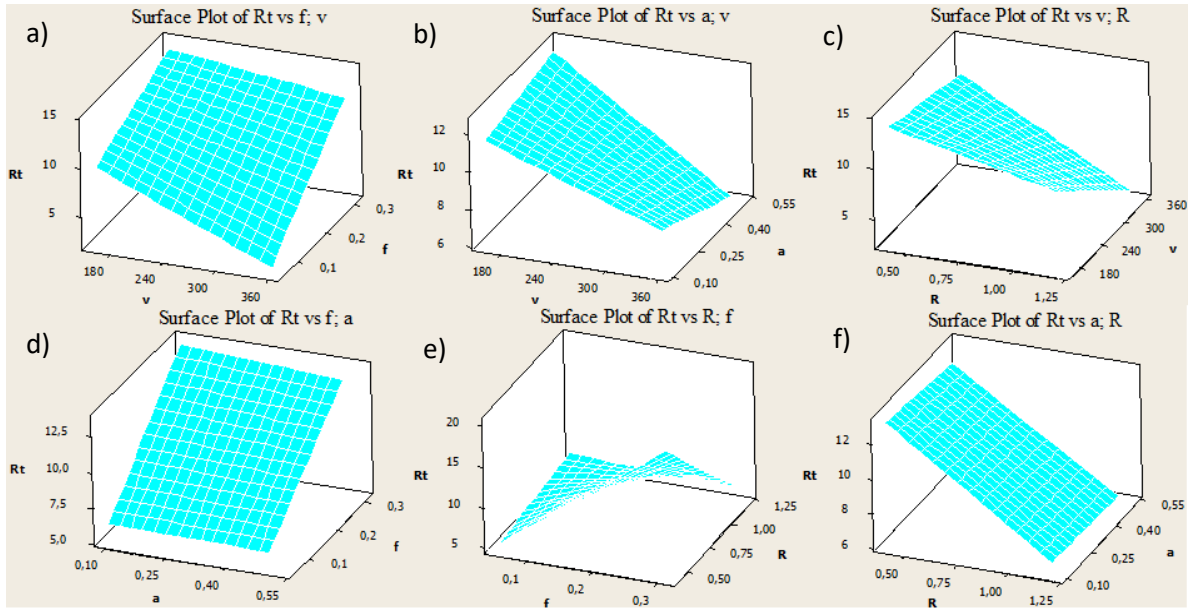
V*f	1	19,360	19,360	19,360	12,45	0,003	3,70
V*a	1	0,832	0,832	0,832	0,53	0,475	0,16
V*R	1	1,290	1,290	1,290	0,83	0,376	0,25
f*a	1	1,654	1,654	1,654	1,06	0,318	0,32
f*R	1	137,687	137,687	137,687	88,55	0,000	26,29
a*R	1	0,004	0,004	0,004	0,00	0,960	0,00
Hata	16	24,878	24,878	1,555			4,75
Toplam	26	523,705					100,00
c) Rt							
V	1	67,602	67,602	67,602	54,47	0,000	15,74
f	1	148,748	148,748	148,748	119,86	0,000	34,62
a	1	0,609	0,609	0,609	0,49	0,494	0,14
R	1	114,170	114,170	114,170	92,00	0,000	26,57
V*f	1	6,954	6,954	6,954	5,60	0,031	1,62
V*a	1	2,201	2,201	2,201	1,77	0,202	0,51
V*R	1	6,925	6,925	6,925	5,58	0,031	1,61
f*a	1	0,071	0,071	0,071	0,06	0,814	0,02
f*R	1	62,442	62,442	62,442	50,31	0,000	14,53
a*R	1	0,042	0,042	0,042	0,03	0,856	0,01
Hata	16	19,857	19,857	1,241			4,62
Toplam	26	429,619					100,00



Şekil 3. R_a üzerinde Bağımsız Parametrelerin Etkileşim Grafikleri



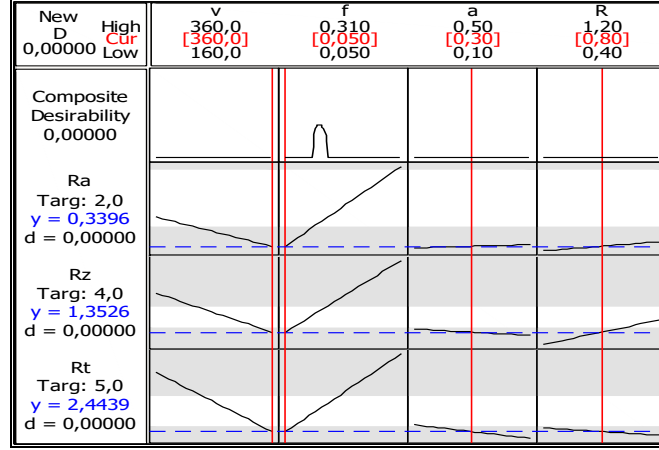
Şekil 4. Rz üzerinde Bağımsız Parametrelerin Etkileşim Grafikleri



Şekil 5. Rt üzerinde Bağımsız Parametrelerin Etkileşim Grafikleri

Şekil 3'te sunulan grafikler Şekil 4 ve Şekil 5'te elde edilen bağımsız parametrelerin etkileşim grafikleri ile benzerlik göstermektedir. Kesme parametreleri arasında en etkili parametreler olan f ve R 'nin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 3-Şekil 5'te gösterilmektedir. f 'nin artması ile yüzey pürüzlülük değeri artmaktadır. Bu durum, ilerleme miktarı ile R_a , R_z ve R_t arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu bize göstermektedir. Literatür incelendiğinde, yüzey pürüzlülük değerinin f 'nin karesiyle oransal olarak artacağına işaret eden teorik formül ($R_a=0.32I_f^2/R$) ile paralellik göstermektedir. f artmasıyla birlikte kesme bölgesinde sürtünmeden dolayı sıcaklığın arttığı ve oluşan ısının takım-talaş ve takım iş parçası ara yüzeyinde yoğunlaştığı bilinmektedir [13-17]. f 'in artmasıyla işlenen yüzeyde kalıcı gerilmeler artacağından, R_a değerlerinde artışın olması beklenen bir sonuçtur. Genel olarak takım uç yarıçapı ile R_a değeri ters orantılıdır. Takım uç yarıçapı arttıkça R_a azalır, azaldıkça R_a değeri artar. Bu durum, takım uç yarıçapı arttıkça, malzeme üzerinde sürtünme miktarı da artmaktadır. Takım-iş parçası arasında artan sürtünmeden dolayı malzemenin özgül kesme direnci azalacak ve malzeme üzerinden daha kolay talaş kaldırılacaktır. Bu nedenle de yüzey pürüzlülük değerinde azalma meydana geldiği düşünülmektedir. v ve a 'nın R_a , R_z ve R_t üzerinde fazla etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Deneyler sonrasında yapılan optimizasyon deneyleri en düşük yüzey pürüzlülük değerinin elde edildiği kesme hızının 3. seviyesi (360 m/dak), ilerleme miktarının 1.seviyesi (0.05 mm/dev), kesme derinliğinin 2. seviyesi (0.3 mm) ve takım uç radyüsünün 2. seviyesi (0.8 mm) olan kesme parametreleri ve seviyelerinde elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Optimizasyon Grafikleri

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bağımsız değişkenlerin (Kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve takım uç radyüsü) bağımlı değişkene (yüzey pürüzlülüğü) etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde, elde edilen sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Yüzey pürüzlülük değerinin en uygun olduğu kesme parametreleri $V=360$ m/dak, ilerleme miktarı $f=0.05$ mm/dev, kesme derinliği 0.3 mm ve takım uç radyüsü 0.8 mm olarak tespit edilmiştir. Bu şartlarda optimum yüzey pürüzlülük değeri $Ra=0.451$ μm , $Rz=1.991$ μm ve $Rt=2.993$ μm olarak elde edilmiştir.
- Varyans analizleri neticesinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler sırasıyla ilerleme miktarı, takım uç radyüsü, kesme hızı ve kesme derinliği olarak belirlenmiştir.
- Yüzey pürüzlülük değeri ilerleme miktarı artarken arttığı, fakat takım uç radyüsü arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. İlerleme miktarının Ra, Rz ve Rt'ye sırasıyla, %46.50, %38.27 ve %34.62 etki ettiği, takım uç radyüsü ise; %28.74 Ra, %22.6 Rz ve %26.57 Rt'ye katkı sağlamıştır.
- Bağımsız parametreler değerlendirildiğinde, kesme hızı ve kesme derinliği parametresinin sonuçlar üzerine etkisi ilerleme miktarı ve takım uç radyüsüne göre oldukça az olduğu belirlenmiştir.
- Gerçekleştirilen optimizasyon sonuçları deney sonuçları ile kıyaslandığında Ra, Rz ve Rt'ye sırasıyla %75.30, %67.94 ve %81.65 oranında yüksek yakınlık gösterdiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Selvam, Milon D., & Senthil, P. (2016). Investigation on the effect of turning operation on surface roughness of hardened C45 carbon steel. Australian Journal of Mechanical Engineering 14, 131-137.
- [2] Cakir, M. C., Ensarioglu, C., & Demirayak, I. (2009). Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parameters and coating material. Journal of Materials Processing Technology, 209, 102-109.
- [3] Tekaslan, Ö., Gerger, N., & Şeker, U. (2008). AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10, 3-12.
- [4] Korkut, I., Boy, M., Karacan, I., & Seker, U. (2007). Investigation of Chip-back temperature during machining depending on cutting parameters. Materials and Design, 28

- [5] Motorcu, A. R. (2009). Surface Roughness Evaluation when Machining Carbon Steel with Ceramic Cutting Tools. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Uludağ University*, 14, 139-145.
- [6] Asiltürk, I., Neşeli, S., & İnce M. A., (2016). Optimisation of parameters affecting surface roughness of Co28Cr6Mo medical material during CNC lathe machining by using the Taguchi and RSM methods. *Measurement*, 78, 120-128.
- [7] Çalışkan, H., Kurbanoglu, C., Panjan, P., & Kramar, D. (2012). Investigation of the performance of carbide cutting tools with hard coatings in hard milling based on the response surface methodology. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 12, 170-174.
- [8] Özçatalbas, Y., & Ercan, F. (2003). The effects of heat treatment on the machinability of mild steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 136, 227-238.
- [9] Sahoo, A. K. (2014). Application of Taguchi and regression analysis on surface roughness in machining hardened AISI D2 steel. *International Journal of Industrial Engineering Computations* 5, 295-304.
- [10] Neşeli, S., Yıldız, S., & Türkeş, E. (2011). Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology. *Measurement* 44, 580–587.
- [11] Harun, Y., Levent, U., & Akkuş, H. (2016). AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün çoklu regresyon ile incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 770-775.
- [12] Sönmez, F., Başak, H., & Baday, Ş. (2016). Haddeme İşleminin Yüzey Yanıt Yöntemi İle Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C* 4, 275-283.
- [13] Öktem, H., Erzurumlu, T., & Kurtaran, H. (2005). Application of response surface methodology in the optimization of cutting conditions for surface roughness. *Journal of Materials Processing Technology*, 170, 11-16.
- [14] Nalbant, M., Gökkaya, H., & Sur, G. (2007). Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning. *Materials and Design*, 28, 1379-1385.
- [15] Wang, X., & Feng, C. X. (2002). Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 20, 348-356.
- [16] Turgut, Y., & Çakmak, I. (2019). Investigation of the Effect of Chip Breaker Form on Surface Roughness and Cutting Forces in AISI 1040 Steel Milling. *GU J Sci, Part C*, 7, 482-494.
- [17] Akkurt, M. *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları*. Birsen Yayınevi, İstanbul, (1998).
- [18] Özdemir, M. (2019). Analysis with Taguchi Method of Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness and Cutting Force, 6th International Symposium on Academic Studies in Science, Engineering and Architecture Sciences, 713-722.

An Overview of Atomic Layer Deposition Technique: Synthesis of ZnO, TiO₂ and Al₂O₃ Films

Meryem POLAT GÖNÜLLÜ¹, Hakan ATEŞ¹

¹ Gazi University Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received:17/07/2019

Revision:06/08/2019

Accepted:06/08/2019

Highlights

- ALD
- ZnO, TiO₂, Al₂O₃
- X-Ray Diffraction

Keywords

ALD
Thin Films
Coating
Nanotechnology

In this study, Atomic Layer Deposition (ALD) technique which has technological importance to produce thin films angstrom to higher scales and various surfaces were evaluated. To exemplify, ZnO, TiO₂ and Al₂O₃ films on Si wafer were growth by ALD technique until the optimum growth conditions are achieved. Characterizations were made by X-Ray diffraction and spectroscopic ellipsometry techniques and film properties were discussed in terms of technological applications.

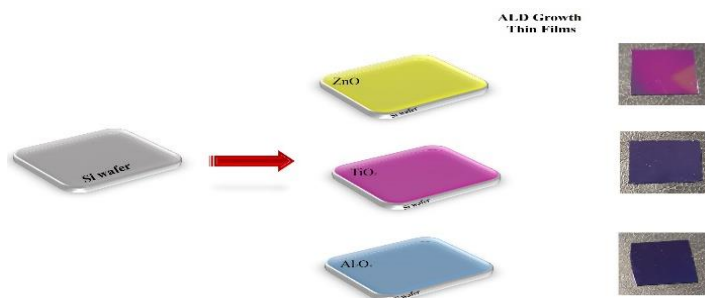


Figure A. Schematic illustration of ALD thin films and pictures of growth films.

Purpose: In the current work, the main purpose is transfer to knowledge about the ALD technique, process and important parameters. However, it is aimed to produce and evaluate ZnO, TiO₂ and Al₂O₃ films in order to observe the functionality of this process.

Theory and Methods: Different recipes were implemented to growth thin films by ALD method. Thicknesses and the crystallographic properties were investigated by spectroscopic ellipsometry and X-ray diffraction technique.

Results: In this study, ALD technique was considered theoretically in many respects. To explain, thicknesses of growth films using this technique determined by spectroscopic ellipsometry investigations showed various values for different recipes. The most appropriate recipe was found and given in this study by evaluating the thicknesses of the films according to homogeneity. The thicknesses results which showed homogeneity also evaluated by crystallographic structures. XRD results showed that the crystallization only for ZnO films at growth conditions.

Conclusion: The basics of the ALD technique were given in this study. Additionally, ZnO, TiO₂ and Al₂O₃ films were growth by this ALD technique and characterized for various recipes in order to be a case study. Most homogeneous film surfaces were determined according to film thicknesses. It was shown that films with homogeneous surfaces can be growth with this technique. Also, it is determined that the some films have amorphous crystal structures while the other has crystalline under growth conditions. All data were evaluated in point of the technological applications.



Atomik Katman Biriktirme Tekniğine Genel Bakış: ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ Filmlerin Üretimi

Meryem POLAT GÖNÜLLÜ¹, Hakan ATEŞ¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Gelişmekte olan teknoloji ile birlikte optoelektronik, enerji çevrimi, nanomedikal uygulamaları ve katalizör malzemeler gibi pek çok alanda teknolojinin minyatürleşmesi sebebiyle nano-boyutta malzeme üretiminin gerekliliği önem kazanmıştır. Bu sebeple son zamanlarda yapılan bilimsel çalışmalar atomik-boyutta ince film kaplama ve büyütme teknolojilerine odaklanılmışlardır. Tam da bu noktada, atomik-boyutta üstün kaliteli kaplamalar yapmaya imkân sağlayan atomik katman biriktirme (ALD) ince film üretim tekniği devreye girmektedir. Bu çalışmada, ALD tekniği hakkında temel bilgi verilmiş, ALD kullanılarak 200 °C taban sıcaklığında silisyum yongalar üzerine ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ ince filmler kaplanmıştır. Homojen yüzeyli ince film kaplamaların yapılabilmesi için öncelikle deneysel parametreler değiştirilerek farklı tekrarlar üretimler gerçekleştirilmiştir ve en uygun deney koşulları belirlenmiştir. Detaylı karakterizasyon işlemleri en uygun üretim koşulları altında kaplama homojenliği sağlayabilmiş ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ ince filmler için yapılmıştır. Üretilen filmlerin homojen bir yapıya sahip olup olmadığını belirlemek için spektroskopik elipsometri tekniği kullanılarak çeşitli noktalarından kalınlıkları saptanmıştır. Ayrıca kristal yapıları hakkında bilgi edinmek adına X-ışını kırınım desenleri incelenmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 17/07/2019
Düzeltilme: 06/08/2019
Kabul: 06/08/2019

Anahtar Kelimeler

ALD
İnce Filmler
Kaplama
Nanoteknoloji

Keywords

ALD
Thin Films
Coating
Nanotechnology

An Overview of Atomic Layer Deposition Technique: Synthesis of ZnO, TiO₂ and Al₂O₃ Films

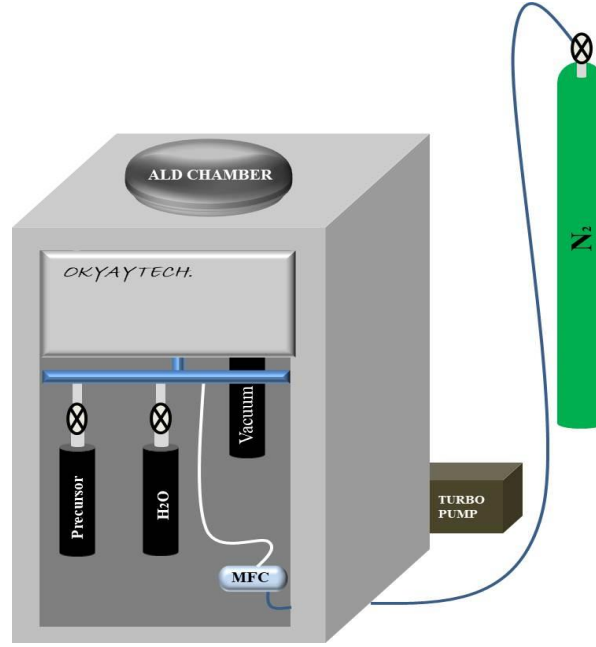
Abstract

Technological products in the fields of optoelectronic, energy conversion, nano-medical applications and catalysis etc. need to produce nano-sized materials production due to the technologies miniaturization together with developing technologies. For this purpose, scientific studies are focus on the atomic scale thin film coating technologies. At this point, atomic layer deposition (ALD) thin film growth technology comes into play with its capability of greater film quality at the atomic scale. In the present study, fundamental knowledge were explained, and ZnO, TiO₂ and Al₂O₃ thin films were grown by atomic layer deposition (ALD) technique on silicon substrates at 200 °C. Firstly, thin film production processes were repeated different times for the production of homogeneous film structure changing different experimental parameters and most effective conditions were determined. After the determination of the process parameters, characterization of the ZnO, TiO₂ and Al₂O₃ thin films were made for most homogeneous films. The thicknesses of the films were measured with a spectroscopic ellipsometer to determine whether they were homogeneous or not. XRD pattern of thin film was investigated to determine crystal structures and homogeneities of the films.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son zamanlarda yapılan bilimsel çalışmalar ve teknolojik ürünler değerlendirildiğinde, optoelektronik, enerji dönüşümü, nano-boyutlu medikal malzemeler ve katalizör malzemeler gibi uygulama alanlarındaki teknolojilerin nano-boyutlu malzeme üretimine ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Bu alanlarda üretilen yüksek dielektrik sabitli transistörler [1-5], bellek aygıtları [6-8], gaz difüzyon bariyerleri [9-11], organik ışık yayan diyotlar (OLED'ler) [12-14], esnek elektronik aygıtlar [15], yakıt hücreleri [16-18], sensörler [19-21], güneş panelleri [22-25], biyoelektronik cihazlar, implantlar, ilaç sistemleri [26-29], su ayrıştırma [30-33] gibi pek çok teknoloji ince film üretim tekniklerinin kullanmasını gerektirmektedir. Magnetron sputtering [34-36], moleküler ışın epitaksi (MBE) [37], Spray-pyrolysis [38], sol-gel [39,40], kimyasal

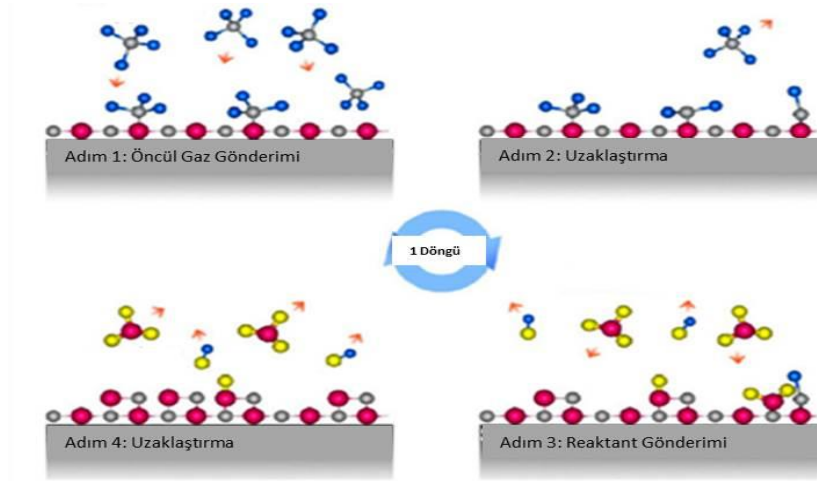
buhar biriktirme (CVD) [41,42] ve atomik katman biriktirme (ALD) [43-45] gibi fiziksel ve kimyasal yöntemler de dâhil olmak üzere hali hazırda pek çok ince film kaplama ve büyütme teknikleri mevcuttur. Bu üretim teknikleri arasından, atomik katman biriktirme (ALD) tekniği atomik ölçekte yüksek kalitede film kalitesi sağlayabilmesi bakımından diğerlerine göre daha öndedir. ALD tekniği, düşük sıcaklıklarda, 1 Torr'un altındaki vakum değerlerinde ve buhar fazında ince film üretimi yapabilen bir tekniktir. 1950'li yılların sonuna doğru Rusya ve 1970'lerdeki Finlandiya'daki çalışmalar ALD yönteminin başlangıcına ve gelişimine temel oluşturmaktadır. Suntola ve Antson 1970'lerde düz panel görüntülemelerinde gelişmiş ince film ve yapıların üretimine olan ihtiyaç nedeniyle 1977'de patentini aldıkları cam üzerinde ZnS büyütülmesi çalışmasında kullandıkları yeni ince film biriktirme yöntemini "bir altlık üzerinde başka bir kristal katman oluşturma temeline oturduğundan atomik katman epitaksi (ALE)" olarak tanımlamışlardır. Bu tabir zamanla atomik katman biriktirme (ALD) halini almıştır [46,47]. Yarıiletken endüstrisinde CVD yöntemiyle üretilen filmlere alternatif olarak yüksek dielektrik dayanımlı oksitlere olan ihtiyaç, düşük sıcaklıklarda homojen kalınlıkta filmlerin büyütülmesine imkân sağlayan ALD'nin gelişim sebebi olarak görülmektedir. Bu gelişmeyi takiben yapılan çalışmalar ALD tekniğinin ince film büyütmeleri için gerekliliğini ve günümüze kadar gelişmesini sağlamıştır [48,49]. Şekil 1'de bu çalışmada örnek bir gösterim olması amacıyla OKYAY R&D firmasına ait ALD reaktörünün şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. OKYAY R&D firmasına ait ALD reaktörün şematik gösterimi.

Atomik katman biriktirme (ALD) tekniği ile ince film üretimi yapılmaya başlamadan önce uygun deneysel koşulların denenerek bulunması ve ardından üretim yapılması gibi süreçler takip edilmelidir. Bu şekilde başlayan bir süreç içerisinde başlangıç kimyasal buharlarının, reaktantların ve taşıyıcı gazın sıralı olarak sisteme gönderilmesi ile ALD tekniğinin evreleri film üretimini mümkün hale getirmektedir. Bu sıralı gönderim sayesinde CVD'den farklı olarak reaktantlar birbirleri ile etkileşime girmeden sıralı üretim/kaplamayı meydana getirmektedir. Fazlalık reaktantlar ve metan gibi yan ürünler ise sisteme azot gönderilmesi ile hazneden dışarı atılırlar. ALD ile film üretiminde su, ozon, oksijen ve bazı alkoller oksijen kaynağı olarak kullanılırken azot gazı ise taşıyıcı-dışarı atıcı gaz olarak kullanılmaktadır. ALD ile film üretim/kaplama sürecine ait adımlar sırasıyla aşağıda verilmiştir ve Şekil 2'de şematik olarak sunulmuştur[50,51]:

- 1) Başlangıç kimyasal buharının sisteme gönderilmesi ve yüzey fonksiyonel gruplarıyla reaksiyona girmesi
- 2) Kimyasal reaksiyonlar sonucunda reaksiyona girmemiş reaktifler ve gaz halindeki reaksiyon ürünlerinin sistemden uzaklaştırılması
- 3) Reaktantların sisteme gönderilmesi
- 4) Reaktantların ve yan ürünlerin sistemden uzaklaştırılması



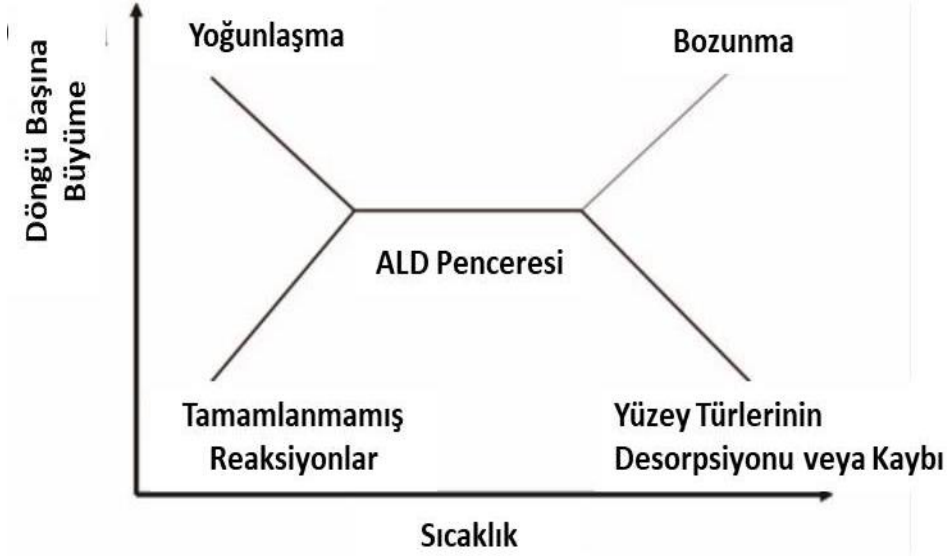
Şekil 2. ALD ile film üretim/kaplama sürecine ait adımları gösterir şema.

ALD ince film üretim sisteminde bu adım tek bir döngü olarak adlandırılır ve döngü başına büyütme olarak adlandırılan ilk tekli katmanı meydana getirir. Bu şekilde kontrollü gaz fazı reaksiyonu ile sisteme sıralı gaz gönderilerek kimyasallar birbiri ile reaksiyona girmeden homojen, pürüzsüz ve konformal kaplamaları karmaşık şekilli geniş alt taşlar üzerine büyütmeye imkân sağlanmaktadır [51].

ALD tekniği ile ince film üretiminde TiN, TaN, WN, NbN gibi nitritler, Al₂O₃, ZnO, HfO₂, Fe₂O₃, Cu₂O, TiO₂ gibi oksitler, Pt, Ir gibi metaller, ZnS, CdS, CdSe gibi kalkojenitler, ZnF₂, CaF₂, SrF₂ gibi floridler, W_xC gibi karbitler ve organik malzemelerin öncül gazları kullanılarak pek çok uygulama çalışma yapılmasına olanak sağlanmaktadır. Bu tip kaplamalara örnek olarak ALD de uygun şartlarda büyütülmüş yüksek dielektrik özelliğe sahip Al₂O₃ ve HfO₂ filmler verilebilir [52].

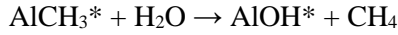
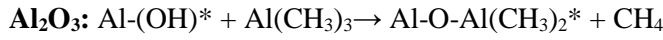
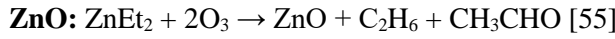
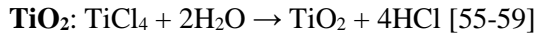
Öncül kimyasallar, basınç, gaz gönderim süresi, fazlalık kimyasalların dışarı atılma süresi ve film üretim sürecindeki sıcaklık değerleri ALD tekniğindeki deneysel parametrelerdir. Bu parametrelerin en uygun film üretim şartları için ayarlanması reçete adını alır ve her bir malzeme için farklılık gösterir. ALD tekniği ile ince film üretirken öncül gazların reaksiyonunu sağlayabilmek adına en uygun bir sıcaklık aralığı belirleyip bu değerlere sadık kalmak büyük önem arz etmektedir. Bu bilgiler ışığında öncül kimyasallarının ve işlem sıcaklığının ALD ile ince film kaplama tekniğinde en önemli parametreler olduğu söylenebilir. Bu nedenle, öncül kimyasalların işlem sıcaklığında yeterli uçuculuğa sahip olması, diğer öncülerle reaksiyona girebilmesi, yüzey aktif bölgeleri tarafından adsorbe edilmesi veya reaksiyona girmesi, yüzeyde aşındırmaya sebep olmaması ve düşük toksisiteye sahip olması önemli hususlardır [52]. Ayrıca, işlem sıcaklığının ALD tekniğindeki etkisinin daha iyi anlaşılması için ALD penceresinin anlaşılması gerekir.

ALD ile ince film kaplama tekniğinde reaksiyonlar genellikle 200 °C ile 400°C aralığında meydana gelmektedir. Bu sıcaklık aralığı düşük ve yüksek sıcaklık bölgelerinin arasına tekabül etmektedir. Şekil 3'de gösterilen bu aralık dışında kalan sıcaklık değerleri ideal olmayan film üretiminin gerçekleştiği bölgelerdir. Bu ideal olmayan sıcaklık bölgeleri düşük kaliteli film üretimine ve ALD tipi olmayan gaz fazı reaksiyonlara sebep olmaktadır. ALD tipi olmayan bu tip gaz fazı reaksiyonlar yüzey reaksiyonlarını aktive etmek için yeterli enerjinin olmayışı ve/ya da kendi kendini sınırlayan reaksiyonlar yerine fiziksel soğurma olmasıyla ilişkili olarak hızlı film üretiminin gerçekleşmesine sebebiyet verebilir. Ayrıca, öncül gazın yüksek yüzey sıcaklıklarında termal bozunumu da yüksek oranda film büyümesine sebep olabilmektedir ve bu durum CVD benzeri reaksiyonlar olarak kendini gösterir. Bunlarla birlikte, şayet kimyasal olarak soğurulmuş türler daha yüksek sıcaklıklar nedeniyle ısıl bozunmaya maruz kalırsa, film büyüme hızı düşer. Bu sebeplerden ötürü yüksek kaliteli filmler elde edebilmek adına "ALD pencere aralığı" olarak adlandırılan en uygun üretim sıcaklık aralığında çalışmak büyük önem arz etmektedir [53].



Şekil 3. ALD penceresini gösteren sıcaklığa karşı döngü başına ALD büyümesi için olası davranışın şematik gösterimi [54]

Film büyütme sürecinde ALD penceresi aralığında meydana gelen örnek bazı reaksiyonlar aşağıda listelenmektedir:



ALD ile Al_2O_3 ince film- kaplama sürecine ait genel reaksiyon ise,



şeklinde. Burada * yüzey türlerini simgelemektedir.

ALD tekniği ile film üretiminin avantajları içerisinde yüksek konformal özellikler, tekrarlanabilirlik, ölçeklenebilirlik, gözeneksiz (pin-hole free) yapı, aşırı incelik, yoğunluk ve homojenlik, yapay malzemelere uygulanabilirlik ve kalınlık kontrolü gibi pek çok özellik sıralanabilir. Bu avantajlar yüzey kontrollü kendi kendini besleyen film büyütme prensibine dayanmaktadır. Sonuç olarak, ALD tekniğinin tüm bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda, bu tekniğin ince film üretimi/kaplama teknolojisinin her alanında gerekliliğini ortaya koyduğu söylenebilir [63].

Bu çalışmada, ALD tekniği hakkında temel bilgiler verilmiş, ALD ile silisyum yongalar üzerine Diethylzinc, DZE/ H_2O , Tetrakis(dimethylamido)titanium(IV) (TDMAT) / H_2O ve TMA/ H_2O başlangıç öncülleri kullanılarak ZnO, TiO_2 ve Al_2O_3 ince film kaplamaların yapımı gerçekleştirilmiştir. Farklı işlem şartları/reçeteler denenmesi yoluyla en uygun süreçlerin tayini sağlanmıştır. Bu işlemlerden sonra en uygun üretim sürecinde elde edilen ZnO, TiO_2 ve Al_2O_3 ince filmlerin Spektroskopik elipsometre ölçüm sonuçlarının modellenmesi ile kalınlıkları ve X-ışını kırınımı ölçümleri ile kırınım desenleri elde edilerek karakterizasyonları gerçekleştirildi.

2. MALZEME VE METOT (MATERIALS AND METHOD)

Bu çalışma kapsamında ZnO, TiO_2 ve Al_2O_3 ince filmleri Okyay teknoloji R&D ALD reaktörü ile silisyum yongalar üzerine üretildi. Film üretiminden önce silisyum yongalar temizlenerek yüzeyin iyileştirilmesi sağlandı. ZnO, TiO_2 ve Al_2O_3 ince filmlerin üretilmesi amacıyla öncül gaz kaynağı olarak sırasıyla

Diethylzinc (DEZ), Tetrakis(dimethylamido)titanium(IV) (TDMAT) ve Trimethylaluminum (TMA), reaktant olarak su ve taşıyıcı gaz olarak azot (% 99,999) kullanıldı. En uygun film üretim reçetesini bulmak adına 3 farklı süreç uygulanarak optimizasyon sağlandıktan sonra en iyi film kalitesini veren şartlarda üretim gerçekleştirildi. ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ ince filmler için en uygun reçeteler Tablo 1’de verildi. Tüm filmlerin üretimi için işlem sıcaklığı 200°C ve azot gazı akışı 20 standart santimetreküp/dk (sccm) olarak belirlendi. Döngü başına film üretim oranları ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ için sırasıyla 0,43 Å/döngü, 1,24 Å/döngü ve 1,29 Å/döngü olarak belirlendi.

Tablo 1. ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ ince filmler için en uygun reçeteler

Numune	Reçete			
	Öncül Gönderimi (ms)	Uzaklaştırma (s)	Reaktant Gönderimi (ms)	Uzaklaştırma (s)
ZnO	10	10	30	10
TiO ₂	15	30	15	30
Al ₂ O ₃	15	10	15	10

ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ filmlerin Spektroskopik Elipsometre ölçümleri UVISEL Jobin Yvon marka Spektroskopik Elipsometre cihazı kullanılarak gerçek zamanlı 464,44; 523,56; 599,12 ve 637,29 nm dalgaboyunda merkezlenmiş LED ışık kaynakları kullanılarak FS-1 MWE ünitesi ile 70°’lik gelme açısında oda sıcaklığında yapıldı. Filmlerin yapısal analizleri Bruker D8 Discover yüksek çözünürlüklü X-ışını kırınımı cihazı (CuK_α) kullanılarak gerçekleştirildi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Spektroskopik Elipsometre ölçümlerinde film kalınlıkları ve optik sabitler gibi değerleri belirlemek için modellemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ filmlerin kalınlıkları Delta ve Psi yazılımı ile modelleme yapılarak belirlendi. Tablo 2’de ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ filmlerinin 9 farklı bölgesinden alınan ölçümlerin modellenmesi sonucunda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri verildi. Elde edilen veriler ışığında, ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ filmlere ait ortalama kaplama kalınlıklarının sırasıyla yaklaşık 12.89 nm, 50.29 nm ve 12.93 nm civarında olduğu görüldü.

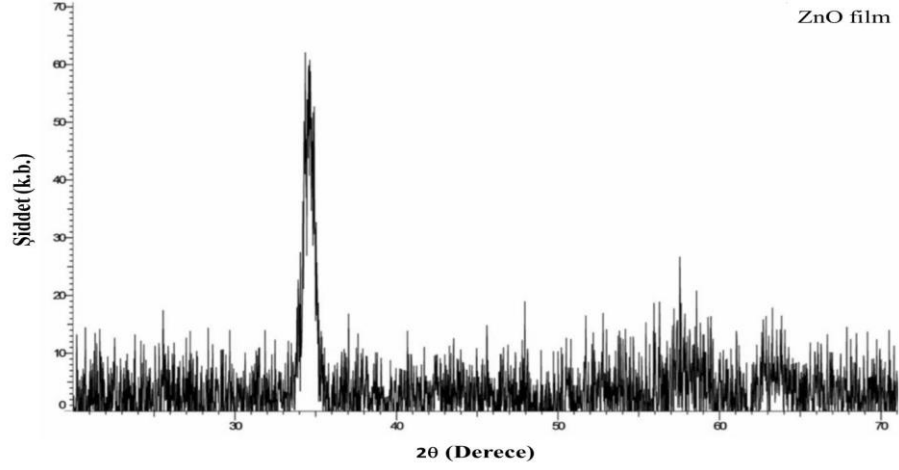
Tablo 2. ALD ile kaplanan ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ ince filmlerinin 9 farklı bölgesi için modelleme sonucu elde edilen nanometre (nm) biriminde kalınlık değerleri.

Numune	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
ZnO	13,40	12,46	12,57	12,88	13,12	13,18	12,40	13,27	12,70
TiO ₂	50,25	48,62	49,23	51,10	51,82	50,17	51,05	50,33	50,07
Al ₂ O ₃	12,84	13,68	13,00	12,21	13,78	12,11	13,91	12,82	12,06

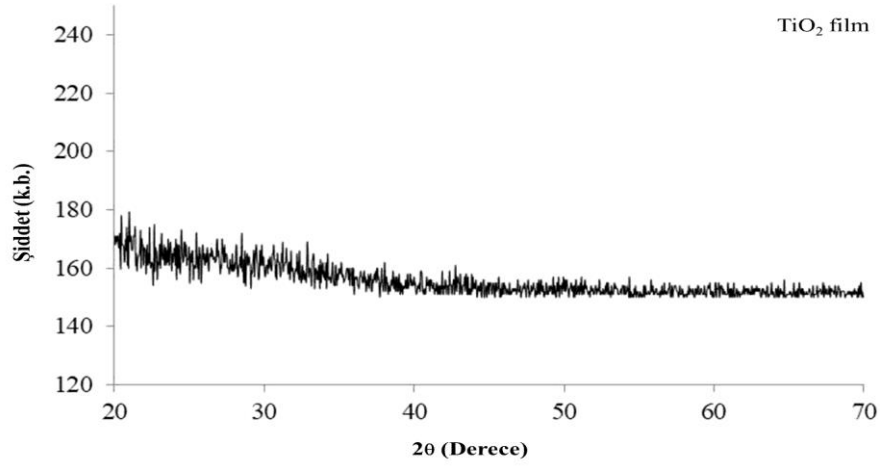
ALD tekniği ile kaplanan ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ ince filmlerinin yapısal özelliklerini tayin etmek için X-ışını kırınım cihazı ile ölçüm alındı. Şekil 4’de ZnO filmine ait X-ışını kırınım deseni verildi. Desen incelendiğinde yaklaşık 35°’de gözlenen pikin (002) düzlemine ait wurtzite ZnO piki olduğu [64] ve yapının kristalleştiği görüldü.

Şekil 5 ve Şekil 6’de verilen TiO₂ ve Al₂O₃ filmlerine ait X-ışını desenlerinden bu filmlerin üretim koşulları altında amorf yapıya sahip oldukları görülmektedir. Al₂O₃ filminin XRD deseninde yaklaşık 70°’de görülen şiddetli pik Si yongaya aittir. Bu şiddetli pikin daha düşük yansıma açılarını örtmesi sebebiyle 25-40° aralığında yeni bir grafik ana grafiğin içinde gösterildi. İç grafikte görülen yayvan yapıyı pikin literatürde de belirtildiği üzere amorf alüminaya ait olduğu tahmin edilmektedir[65-71]. Bu amorf pik aynı zamanda kaplamanın varlığını da teyit etmektedir. Tüm filmlere ait analizler birlikte değerlendirildiğinde, sadece

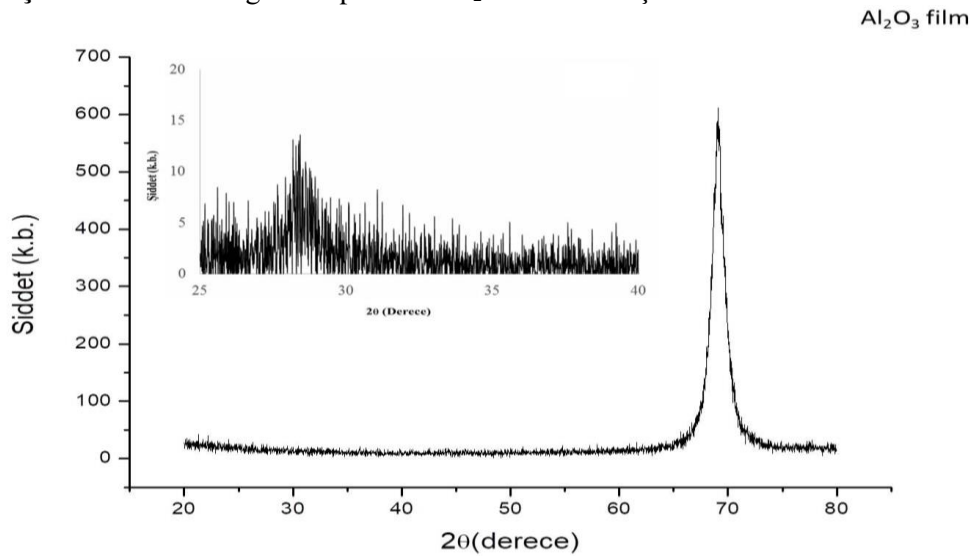
ZnO'in 200°C'lik işlem sıcaklığında kristal yapıya sahip olduğu söylenebilir. TiO₂ ve Al₂O₃ filmlerinin kristal yapı sergilemesi için ısı işlemlere maruz bırakılmaya ihtiyaçları vardır.



Şekil 4. ALD tekniği ile kaplanan ZnO filme ait X-ışını kırınım deseni



Şekil 5. ALD tekniği ile kaplanan TiO₂ filme ait X-ışını kırınım deseni



Şekil 6. ALD tekniği ile kaplanan Al₂O₃ filme ait X-ışını kırınım deseni

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada; Atomik Katman Biriktirme yönteminin temelleri verildi. Örnek bir çalışma olması amacıyla bu teknik ile ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ ince filmlerinin büyütülmeleri, reçetelerinin hazırlanması ve karakterizasyonları gerçekleştirildi. Spektroskopik elipsometre verilerinin modellenmesi sonucu elde edilen kalınlık değerlerinden, üretilen ZnO, TiO₂ ve Al₂O₃ ince filmlerin Si yonga üzerinde homojen bir birikim sergilediği belirlendi. XRD analizleri sonucunda ZnO filmlerin TiO₂ ve Al₂O₃ filmlere göre üretim işlemi sıcaklığında kristal yapıya sahip olduğu görüldü. ALD ile ince film üretiminde birbirinden farklı malzemeler için oldukça homojen yüzeyli kaplamalar yapılabildiği ortaya koyuldu. Elden edilen sonuçlar ışığında, homojen kaplamaya sahip ZnO, amorf Al₂O₃ ve TiO₂ filmlerin sırasıyla pasivasyon, gaz sensörleri ve fotokatalizör özelliğe sahip malzemelerde[72-74] kullanılabilmesinin yanı sıra üretim özelliklerinden başlayıp kristalleşmelerini tamamladıkları fazlara ve yapısal özelliklerine göre literatür ile uyumlu olarak optoelektronik, enerji çevrimi, nanomedikal uygulamaları gibi pek çok alanda teknolojinin hizmetine sunulabileceği görüldü.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, 07/2015-08 ve 07/2016-11 numaralı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri ve Okuy Technology R&D tarafından desteklendi.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Lin, Y, S., Cheng, P, H., Huang, K, W., Lin, H, C., Chen, M, J, Atomic layer deposition of sub-10 nm high-K gate dielectrics on top-gated MoS₂ transistors without surface functionalization, Appl, Surf, Sci, 443(421-428), (2018).
- [2] Kim, H., Park, T., Park, S., Leem, M., Ahn, W., Lee, H., Kim, Y, Ultrathin monolithic HfO₂ formed by Hf-seeded atomic layer deposition on MoS₂: Film characteristics and its transistor application, Thin Solid Films, 673(112–118), (2019).
- [3] Walker, B., Pradhan, A, K., Xiao, B, Low temperature fabrication of high performance ZnO thin film transistors with high-k dielectrics, Solid-State Electron, 111(58-61), (2015).
- [4] Groner, M, D., and George, S, M, (2003). High-k dielectrics grown by atomic layer deposition: Capacitor and gate applications, Interlayer Dielectrics for Semiconductor Technologies, Academic Press (327-348).
- [5] Jakschik, S., Schroeder, U., Hecht, T., Krueger, D., Dollinger, D., Bergmaier, A., Luhmann, C., Bartha, J,W, Physical characterization of thin ALD–Al₂O₃ films, Appl, Surf, Sci., 211(1-4) (352-359), (2003).
- [6] Yu, Y., Yang, F., Mao, S., Zhu, S., Jia, Y., Yuan, L., Salmen, M., Sun, B, Effect of anodic oxidation time on resistive switching memory behavior based on amorphous TiO₂ thin films device, Chem, Phys, Lett., 706(477–482), (2018).
- [7] Mroczynski, R., Taube, A., Gieraltowska, S., Guzewicz, E., Godlewski, M, Application of deposited by ALD HfO₂ and Al₂O₃ layers in double-gate dielectric stacks for non-volatile semiconductor memory (NVSM) device, Appl, Surf, Sci., 258(8366–8370), (2012).
- [8] Kameshwar K, Yadavallia, Alexei O, Orlova, Gregory L, Snidera, Jeffrey Elam, Aluminum oxide tunnel barriers for single electron memory devices, Microelectron, J., 36(272–276), (2005),
- [9] Choi, D, W., Park, H., Lim, J, H., Han, T, H., Park, J, S, Three-dimensionally stacked Al₂O₃/graphene oxide for gas barrier applications, Carbon 125(464–471), (2017).
- [10] Heidary,D, S, B., and Randall, C, A, Evaluation of Atomic Layer Deposition coating as gas barrier against hydrogen gas and humidity, Scripta Mater, 107(30–33), (2015).
- [11] Yu, C,C., Tsai, M, Y., Hsiao,C, N, Conductive Gas Barriers Prepared by Using Atomic Layer Deposition Technique, Procedia Engineer, 36(562–570), (2012).

- [12] Seo, S, W., Jung, E, Chae, H., Cho, S, M, Optimization of Al₂O₃/ZrO₂ nanolaminate structure for thin-film encapsulation of OLEDs, *Org, Electron*, 13(2436–2441), (2012).
- [13] Kim, E., Han, Y., Kim, W., Choi, K, C., Im, H, G., Bae, B, S, Thin film encapsulation for organic light emitting diodes using a multi-barrier composed of MgO prepared by atomic layer deposition and hybrid materials”, *Org, Electron*, 14(1737–1743), (2013).
- [14] Tsai, Y, S., Chittawanij,A., Juang, F, S., Lin, P, C., Hong, L, A., Tsai, F, Y., Tseng, M, H., Wang, C, C., Chen, C, C., Lin, K, L., Chen, S, H., Flexible fluorescent white organic light emitting diodes with ALD encapsulation, *J, Phys, Chem Solids*, 83(135–139), (2015).
- [15] Zhanga, Y., Meia, Z., Wanga, T., Huo, W., Cuia, S., Liang, H., Du, X, Flexible transparent high-voltage diodes for energy management in wearable electronics, *Nano Energy*, 40(289–299), (2017).
- [16] Cheng, N., Shaob, Y., Liub, J., Sun, X, Electrocatalysts by atomic layer deposition for fuel cell applications, *Nano Energy*, 29(220–242), (2016).
- [17] Lim, D, K, Liu, J., Pandey, S, A., Paik, H., Chisholm, C, R., Hupp, J, T., Haile, S, M, Atomic layer deposition of Pt@CsH₂PO₄ for the cathodes of solid acid fuel cells, *Electrochim, Acta*, 288(12–19), (2018).
- [18] Liu, Y, R., Hsueh, Y, C., Perng, T, P, Fabrication of TiN inverse opal structure and Pt nanoparticles by atomic layer deposition for proton exchange membrane fuel cell, *Int, J, Hydrogen Energy*, 42(10175 – 10183), (2017).
- [19] Kosiel, K., Koba, M., Masiewicz, M., Śmietana, M, Tailoring properties of lossy-mode resonance optical fiber sensors with atomic layer deposition technique, *Opt, Laser Technol*, 102(13–221), (2018).
- [20] Lupan, O., Postica, V., Ababii, N., Reimer, T., Shree, S., Hoppe, M., Polonskyi, O., Sontea, V., Chemnitz, S., Faupel, F., Adelung, R, Ultra-thin TiO₂ films by atomic layer deposition and surface functionalization with Au nanodots for sensing applications, *Mater, Sci, Semicond, Process* 87(44–53), (2018).
- [21] Melo, L., Burton, G., Kubik, P., Wild, P, Refractive index sensor based on inline Mach-Zehnder interferometer coated with hafnium oxide by atomic layer deposition, *Sens, Actuators, B*, 236(537–545), (2016).
- [22] Alnuaimi, A., Almansouri, I., Saadat, I., Nayfeh, A, High performance graphene-silicon Schottky junction solar cells with HfO₂ interfacial layer grown by atomic layer deposition, *Sol, Energy*, 164(174–179), (2018).
- [23] Choi, E, Y., Kim, J., Lim, S., Han, E., Ho-Baillie, A, W., Park, N, Enhancing stability for organic-inorganic perovskite solar cells by atomic layer deposited Al₂O₃ encapsulation, *Sol, Energy Mater, Sol, Cells* 188(37–45), (2018).
- [24] Zardetto, V., Di Giacomo, F., Lucarelli, G., Kessels, W,M,M., Brown, T,M., Creatore, M, Plasma-assisted atomic layer deposition of TiO₂ compact layers for flexible mesostructured perovskite solar cells, *Sol, Energy*, 150(447–453), (2017).
- [25] Frankenstein, H., Leng, C, Z., Losego, M, D., Frey, G, L, Atomic layer deposition of ZnO electron transporting layers directly onto the active layer of organic solar cells, *Org, Electron*, 64(37–46), (2019).
- [26] Graniel, O., Weber, M., Balme, S., Mielea, P., Bechelany,M, Atomic layer deposition for biosensing applications, *Biosens, Bioelectron*, 122(147–159), (2018).
- [27] Skoog, S, A., Elam J, W., Narayan, R, J, Atomic layer deposition: medical and biological applications, *Int, Mater, Rev*, 58(2) (113-129), (2013).
- [28] Narayan, R, J., Adiga, S, P., Pellin, M, J., Curtiss, L, A., Hryn, A, J., Stafslie, S., Chisholm, B., Shih, C, C., Shih, C, M., Lin, S, J., Su, Jin, C., Zhang, J., Monteiro-Riviere, N, A., Elam, J, W, Atomic layer

- deposition-based functionalization of materials for medical and environmental health applications, *Phil, Trans, R, Soc, A* 368(2033–2064), (2010).
- [29] Morales, J, M, H, Evaluating biocompatible barrier films as encapsulants of medical micro devices, Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes, (2015).
- [30] Wang, C, C., Chou, P, H., Yu, Y, H., Kei, C, C., Deposition of Ni nanoparticles on black TiO₂ nanowire arrays for photoelectrochemical water splitting by atomic layer deposition, *Electrochim, Acta*, 284(211 – 219), (2018).
- [31] Tang-Kong, R., Winter, R., Brock, R., Tracy, J., Eizenberg, M., Dauskardt, R, H., McIntyre, P, C, The Role of Catalyst Adhesion in ALD-TiO₂ Protection of Water Splitting Silicon Anodes, *ACS Appl, Mater, Interfaces*, 10 (37103–37109), (2018).
- [32] Moehl, T., Suh, J., Sévery, L., Wick-Joliat, R., & Tilley, S, D, Investigation of (Leaky) ALD TiO₂ Protection Layers for Water-Splitting Photoelectrodes, *ACS Appl, Mater, Interfaces*, 9(43614–43622), (2017).
- [33] Pickrahn, K, L., Gorlin, Y., Seitz, L, C., Garg, A., Nordlund, D., Jaramillo, T, F., & Bent, S, F, Applications of ALD MnO to electrochemical water splitting, *Phys, Chem, Chem, Phys*, 17(14003-14011), (2015).
- [34] Zhu, H., Niu, X., Wan, M., & Mai, Y, A study of ZnO:Al thin films reactively sputtered under the control of target voltage for application in Cu(In,Ga)Se₂ thin film solar cells, *Vacuum* 161(297–305), (2019).
- [35] Efker, H,I., Tataroglu, A., Cetin, S,S., Topaloglu, N., Gonullu, M, P., Ates, H., The effect of thickness on the optical, structural and electrical properties of ZnO thin film deposited on n-type Si, *J, Mol, Struct*, 1165(376-380), (2018).
- [36] Shen, H., Wei, B., Zhang, D., Qi, Z., Wang, Z, Magnetron sputtered NbN thin film electrodes for supercapacitors, *Mater, Lett*, 229(17–20), (2018).
- [37] Popp, A., and Pettenkofer, C., Epitaxial growth of CuGaSe₂ thin-films by MBE—Influence of the Cu/Ga ratio, *Appl, Surf,Sci*, 416(815–823), (2017).
- [38] Shrotriya, V., Zaman, M, B., Poolla, R, Low cost sprayed CuIn(SxSe1-x)₂ thin films for photovoltaic applications, *Mater, Lett*, 236(428–431), (2019).
- [39] Menga, L., Yanga, X., Chai, H., Lv, Z., Yang, T, Sol-gel derived Zn_{1-x}Mg_xO:Al transparent conductive thin film and its application to thin film solar cells, *Thin Solid Films* 672(186–191), (2019).
- [40] Yildirim, S, Sol-Gel Döner Kaplama Yöntemiyle Oluşturulmuş Ta₂O₅ İnce Film Kondansatörün Düşük Sıcaklık Bölgesi Dielektrik Özellikleri ve AC İletkenlik Davranış, *GU J Sci, Part C*, 6(4) (851-861), (2018).
- [41] Astinchap, B., and Laelabadi, K, G, effects of substrate temperature and precursor amount on optical properties and microstructure of CVD deposited amorphous TiO₂ thin films, *J, Phys, Chem, Solids*, 129(217–226), (2019).
- [42] Kaushik, V, K., Mukherjee, C., Ganguli, T., Sen, P,K, Electrical and optical characteristics of aerosol assisted CVD grown ZnO based thin film diode and transistor, *J,Alloys Compd*, 696(727-735), (2017).
- [43] Kotilainen, M., Krumpolec, R., Franta, D., Souček, P., Homola, T., Cameron, D, C., Vuoristo, P, Hafnium oxide thin films as a barrier against copper diffusion in solar absorbers, *Sol, Energy Mater, Sol, Cells*, 166(140–146), (2017).
- [44] Boyadjieva, S,I., Georgieva, V., Yordanov, R., Raicheva, Z., I,M, Szilágy, Preparation and characterization of ALD deposited ZnO thin films studied for gas sensors, *Appl, Surf, Sci*, 387(1230–1235), (2016).

- [45] DeCoster, M, E., Meyer, K, E., Piercy, B, D., Gaskins, J, T., Donovan, B, F., Giri, A., Strnad, N, A., Potrepka, D, M., Wilson, A, A., Losego, M, D., Hopkins, P, E, Density and size effects on the thermal conductivity of atomic layer deposited TiO₂ and Al₂O₃ thin films, *Thin Solid Films*, 650(71–77), (2018).
- [46] George, S, M, Atomic Layer Deposition: An Overview, *Chem, Rev*, 110(111–131), (2010).
- [47] Puurunen, R, L, A Short History of Atomic Layer Deposition: Tuomo Suntola's Atomic Layer Epitaxy, *Chem, Vap, Deposition* 20(332–344), (2014).
- [48] Prakash, J., Swart, H, C., Zhanga G., Sun, S, Emerging applications of atomic layer deposition for the rational design of novel nanostructures for surface-enhanced Raman scattering, *J, Mater, Chem, C*, 7(1447-1471), (2019).
- [49] Lu, W., Liang, L., Sun, X., Sun, X., Wu, C., Hou, L., Sun, J., Yuan, C, Recent Progresses and Development of Advanced Atomic Layer Deposition towards High-Performance Li-Ion Batteries, *Nanomater*, 7(10) (325), (2017).
- [50] Johnson, R, W., Hultqvist, A., & Bent, S, F, A brief review of atomic layer deposition: from fundamentals to applications, *Mater, Today*, 17(5) (236-246), (2014).
- [51] Kim, H., & Maeng, W, J, Applications of atomic layer deposition to nanofabrication and emerging nanodevices, *Thin Solid Films* 517(2563–2580), (2009).
- [52] Ponraj, J, S., Attolini, G., Bosi, M, Review on Atomic Layer Deposition and Applications of Oxide Thin Films, *Crit, Rev,s Solid State Mater, Sci*, 38(3) (203-233), (2013).
- [53] Knoops, H, C, M., Potts, S, E., Bol, A, A., & Kessels, W, M, M, (2015), Atomic layer deposition, In T, Kuech (Ed.), *Handbook of crystal growth: thin films and epitaxy* (second edition) Elsevier, 1101,1134.
- [54] Suntola, T, Atomic Layer Epitaxy, In *Handbook of Crystal Growth, Vol, 3, Part B: Growth Mechanisms and Dynamics*; Hurler, D, T, J., Ed.; Elsevier: Amsterdam, 1994; Chapter 14.
- [55] Warner, E, J., Cramer, C, J., Gladfelter, W, L, Atomic layer deposition of zinc oxide: Understanding the reactions of ozone with diethylzinc, *J, Vac, Sci, Technol., A*, 31(4) (041504), (2013).
- [56] Ritala, M., Leskelä, M., Johansson, L, S., Niinistö, L, Atomic force microscopy study of titanium dioxide thin films grown by atomic layer epitaxy, *Thin Solid Films*, 228(1-2) (32-35) (1993).
- [57] Lakomaa, E, L., Haukka, S., Suntola, T, Atomic layer growth of TiO₂ on silica, *Appl, Surf, Sci*, 60 (742-748), (1992).
- [58] Ritala, M., Leskelä, M., Nykänen, E., Soininen, P., & Niinistö, L, Growth of titanium dioxide thin films by atomic layer epitaxy, *Thin Solid Films*, 225(1-2) (288-295), (1993).
- [59] Haukka, S., Lakomaa, E, L., & Suntola, T, Analytical and chemical techniques in the study of surface species in atomic layer epitaxy, *Thin Solid Films*, 225(1-2) (280-283), (1993).
- [60] George, S, M., Ott, A, W., Klaus, J, W, Surface chemistry for atomic layer growth, *The J, Phys, Chem*, 100(31) (13121-13131), (1996).
- [61] Ott, A, W., Klaus, J, W., Johnson, J, M., George, S, M, Al₂O₃ thin film growth on Si(100) using binary reaction sequence chemistry, *Thin Solid Films* 292(1-2) (135-144), (1997).
- [62] Dillon, A, C., Ott, A, W., Way, J, D., & George, S, M, Surface chemistry of Al₂O₃ deposition using Al(CH₃)₃ and H₂O in a binary reaction sequence, *Surf, Sci*, 322(1-3) (230-242), (1995).
- [63] Knez, M., Nielsch, K., Niinistö, L, Synthesis and surface engineering of complex nanostructures by atomic layer deposition, *Adv, Mater*, 19(21) (3425-3438), (2007).

- [64] Singh, T., Lehnen, T., Leuning, T., Sahu, D., Mathur, S., Thickness dependence of optoelectronic properties in ALD grown ZnO thin films, *Appl. Surf. Sci.* 289, 27-32, (2014).
- [65] Musil, J., Blažek, J., Zeman, P., Prokšová, Š., Šašek, M., Čerstvý, R., Thermal stability of alumina thin films containing γ -Al₂O₃ phase prepared by reactive magnetron sputtering, *Appl. Surf. Sci.* 257(3), 1058-1062, (2010).
- [66] Dhonge, B. P., Mathews, T., Sundari, S. T., Kamruddin, M., Dash, S., Tyagi, A. K., Combustion chemical vapour deposition of Al₂O₃ films: Effect of temperature on structure, morphology and adhesion, *Surf. Coat. Tech.* 205(7), 1838-1842, (2010).
- [67] Kumar, P., Wiedmann, M. K., Winter, C. H., Avrutsky, I., Optical properties of Al₂O₃ thin films grown by atomic layer deposition, *Appl. Opt.* 48(28), 5407-5412, (2009).
- [68] Barbos, C., Blanc-Pelissier, D., Fave, A., Blanquet, E., Crisci, A., Fourmond, E., Albertini, D., Sabac, A., Ayadi, K., Girard P., Lemiti, M., Characterization of Al₂O₃ thin films prepared by thermal ALD, *Energy Procedia*, 77, 558-564, (2015).
- [69] Afanas' Ev, V. V., Stesmans, A., Mrstik, B. J., Zhao, C., Impact of annealing-induced compaction on electronic properties of atomic-layer-deposited Al₂O₃, *Appl. Phys. Lett.* 81(9), 1678-1680, (2002).
- [70] Aarik, L., Arroval, T., Rammula, R., Mändar, H., Sammelselg, V., Aarik, J., Atomic layer deposition of TiO₂ from TiCl₄ and O₃, *Thin Solid Films*, 542, 100-107, (2013).
- [71] Pore, V., Kivelä, T., Ritala, M., Leskelä, M., Atomic layer deposition of photocatalytic TiO₂ thin films from TiF₄ and H₂O, *Dalton Trans.* (45), 6467-6474, (2008).
- [72] Albadri, M. A., Characterization of Al₂O₃ surface passivation of silicon solar cells, *Thin Solid Films*, 562, 451-455, (2014).
- [73] Boyadjiev, S. I., Georgieva, V., Yordanov, R., Raicheva, Z., Szilágyi, I. M., Preparation and characterization of ALD deposited ZnO thin films studied for gas sensors, *Appl. Surf. Sci.* 1230-1235, (2016).
- [74] Justh, N., Firkala, T., László, K., Lábár, J., Szilágyi, I. M., Photocatalytic C60-amorphous TiO₂ composites prepared by atomic layer deposition, *Appl. Surf. Sci.* 419, 497-502, (2017).

The Effect of Additives on Structural and Magnetic Properties of CoNi Alloy Thin Film Coatings Produced by Electrodeposition

Rasim ÖZDEMİR

Kilis 7 Aralık University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Electricity and Energy, 79000, KİLİS

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 22/05/2019

Revision 17/07/2019

Accepted: 18/08/2019

Highlights

- CoNi thin films with coumarin and thiourea additives were successfully deposited
- Hysteresis loops were obtained from VSM measurements.
- CoNi thin films showed ferromagnetic properties.
- The cobalt in the film content had a great effect on the magnetic properties.

Keywords

Additives
Coumarin and thiourea
Cobalt-nickel
Thin film
Magnetization

In this study; CoNi alloy thin film coatings were produced by electrodeposition method without additives and using additional additives (organic coumarin and thiourea). The structural and magnetic properties of the produced thin films were investigated. When coumarin was added to the bath composition, it was determined that cobalt in the film content decreased from 67.94% to 43.82%, when it was added to thiourea, it decreased to 34.33% and both films showed amorphous properties. Magnetization measurements were performed and hysteresis curves were obtained.

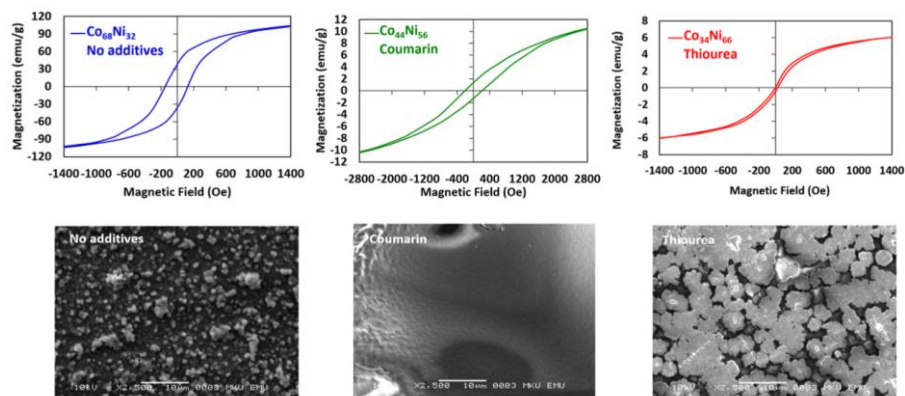


Figure A. Hysteresis loops obtained from magnetic measurements of CoNi alloy thin films, and SEM images

Purpose: In this study; It was aimed to produce CoNi alloy thin films by using coumarin and thiourea as an additive in the electrolyte and to investigate the structural and magnetic properties. The effects of additives on the amount of substance deposited in the thin film, crystal structure and magnetic properties (coercivity, saturation magnetization and permanent magnetization) were investigated.

Theory and Methods: CoNi alloy thin films were produced by electrodeposition method. A potentiostat with constant direct current and voltage control as a power source was used in the setting. Platinum wire as the opposite electrode saturated calomel electrode (SCE) as the reference electrode and aluminum substrate as the working electrode were used. The structural and magnetic properties of the produced films were investigated by CV, ICP, XRD, SEM and VSM analyzes.

Results: CoNi alloy thin films were successfully deposited on aluminum substrates. XRD measurements and SEM images obtained from thin films were analyzed. Thin films deposited with the additive of organic thiourea and coumarin did not crystallize and showed amorphous properties. It was confirmed by hysteresis loops that all three thin-film coatings produced exhibited ferromagnetic material behavior. It was seen that the additives had a significant effect on the amount of material in the alloy film, crystal structure, and magnetic properties.

Conclusion: Organic coumarin and thiourea additives were found to significantly change the amount of cobalt and nickel in the deposited thin-film content. The amount of cobalt and nickel material changes the crystal structure, grain size and magneto-crystal anisotropy of the thin film. By controlling these changes, it was understood that the desired soft and hard magnetic materials could be produced.



Elektrodepolama ile Üretilen CoNi Alaşım İnce Film Kaplamaların Yapısal ve Manyetik Özellikleri Üzerine Ek Katkı Maddelerinin Etkisi

Rasim ÖZDEMİR

Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 79000, KİLİS

Öz

Metallerin ve alaşımların elektrodepolanması bir veya daha fazla organik veya inorganik ek katkı maddeleri içerebilir. Ek katkılar; depolanan ince film kaplamaların yüzey morfolojisine, tane büyüklüğüne ve kristal yapısına etki etmektedir. Bu çalışmada CoNi alaşım ince film kaplamalar, katkı madde olmadan ve ek katkı maddeleri (organik kumarin ve tiyouüre) kullanılarak elektrodepolamayla üretildi. Ek katkısız depolanan CoNi alaşım ince film kaplamasının; kristal yapısının yüzey merkezli kübik (fcc) ve kaplama içeriğindeki kobalt miktarının % 67.94 olduğu bulundu. Banyo kompozisyonuna, kumarin katıldığında film içeriğindeki kobaltın % 43.82'ye, tiyouüre katıldığında %34.33'e düştüğü ve her iki filmin amorf özellik gösterdiği belirlendi. Uygulanan manyetik alan, -75000 Oe ile +75000 Oe arasında değiştirilerek, manyetizasyon değerleri ölçüldü ve histeresis eğrileri elde edildi. Katkı maddelerinin alaşım film içerisindeki madde miktarına, kristal yapıya ve manyetik özelliklere büyük etki ettiği görüldü.

Makale Bilgisi

Başvuru: 22/05/2019

Düzeltilme: 17/07/2019

Kabul: 18/08/2019

Anahtar Kelimeler

Ek katkılar

Kumarin ve tiyouüre

Kobalt-nikel

İnce film

Manyetizasyon

The Effect of Additives on Structural and Magnetic Properties of CoNi Alloy Thin Film Coatings Produced by Electrodeposition

Keywords

Additives

Coumarin and thiourea

Cobalt-nickel

Thin film

Magnetization

Abstract

Electrodeposition of metals and alloys may contain one or more organic or inorganic additives. Additives it affects the surface morphology, grainsize and crystal structure of the thin film coatings. In this study, CoNi alloy thin film coatings were produced by electrodeposition without additives and using additives (organic coumarin and thiourea). CoNi alloy thin film coating produced without additional additive; It was found that the crystal structure was face centered cubic (fcc) and the cobalt content of the coating was 67.94%. When coumarin was added to the bath composition, cobalt in the film content decreased to 43.82%, decreased to 34.33% when thiourea was added, and both films showed amorphous properties. The magnetic field applied was changed between -75000 Oe to +75000 Oe, magnetization values were measured and hysteresis curves were obtained. It was seen that the additives had a great effect on the amount of matter, crystal structure and magnetic properties in the alloy film.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kobalt nikel (CoNi) alaşım malzemelerin manyetik özelliklerini araştırmak için yapılan çalışmalar, nano teknolojinin gelişmesiyle büyük ilgi çekmektedir [1]. Nanoyapılı malzemelerle ilgili araştırmalar çeşitli ince film üretim teknikleri ile yapılmakta ve bu malzemeler, elektronik, enerji kaynakları, bilgi depolama ve tıp alanında başarıyla uygulanmaktadır [2-5]. Ayrıca CoNi alaşımları, korozyonu önlemede, organik maddelerle katkılanarak biyomedikal mikro cihazlarda, sensör ve biyosensörlerin yapımında ve mikrodalga emicilerde kullanılmaktadır [6-8].

CoNi alaşım ince film kaplama malzemelerin mikro ve nanoyapılı olarak üretimi için elektriksiz kaplama, elektrokimyasal depolama (elektrodepolama), sol-gel işlemi, spin kaplama, kimyasal buhar depolama, moleküler ışın epitaksi (MBE), manyetik alanda sıçratma (sputtering) gibi yöntemler kullanılmaktadır [9-13]. Bu yöntemler içerisinde en fazla kullanılanlardan biriside elektrodepolama sistemidir. Elektrodepolama sisteminde; ince film üretimi, işlem sürecinin basitliği, ucuzluğu, düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesi ve kaplama banyosu içeriğinin kontrol edilebilmesi nedeniyle, vakum gerektiren ve pahalı olan diğer yöntemlere göre daha uygundur. Bu yöntemle yüksek depolama hızlarına ulaşılabilir, seri üretimle ve çok değişik parametrelerle denemeler yapılmasına imkân sağlar. Ayrıca kaplama olarak

malzemelerde daha sonra meydana gelebilecek olan aşınma, paslanma gibi dış etkilere karşı dayanıklılığını artırmak ve sert yüzeyler elde etmekte de kullanılır [14,15]. Elektrodepolanan ince film kaplamaları; çözelti içerisindeki metal iyon konsantrasyonları, çözelti pH'ı, katkı maddeleri, akım yoğunluğu, depozisyon (katot) potansiyeli, çözelti sıcaklığı, çözeltinin karıştırılması, akımın darbeli (puls) ya da sürekli olması, depolama süresi gibi durumlar etkilemektedir [16-19].

Metal ve alaşım ince filmlerin elektrodepolanmasında kullanılan banyo kompozisyonları, bir veya daha fazla organik veya inorganik katkı maddeleri içerebilir. Bu katkı maddeleri, katot yüzeyinde adsorbe edildiği için depolanma ve kristal oluşma işlemlerini etkiler [20]. Kobalt (Co), çinko (Zn), nikel (Ni) ve krom (Cr) gibi metalleri içeren banyo kompozisyonlarına, kumarin, tiyoüre, üre, sakarin, glisin, sitrik asit, tartarik asit ve etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) gibi organik katkı maddeleri katılabilmektedir. Bu katkı maddelerinin depolanma üzerine etkileri birçok çalışmada çalışılmış ve yapılan araştırmalar devam etmektedir [21-24]. Ancak kumarin ve tiyoüre gibi organik katkı maddeleri katılarak üretilen, CoNi alaşımlar ve manyetik özelliklerinin incelenmesi üzerine yapılan yeterli çalışma bulunmamaktadır.

Genel olarak katkı maddeleri ince film kaplama banyolarında, yüzey morfolojisini, kristal yapıyı kontrol etmek ve tane büyüklüğünü iyileştirmek için kullanılır [25]. Organik katkı maddelerinin varlığı, depolanma filmler üzerinde, parlaklık, iç gerilme, oyuklaşma, korozyon davranışı, fiziksel ve mekanik özelliklerini de etkilemektedir [26,27].

Organik kumarin ve tiyoüre maddeleri, elektrodepolanan malzemelerin yüzey parlaklığını arttırmada, tane büyüklüğünü küçültmede, alaşımların depolanmasında siyanür içeren elektrolitlere alternatif olarak indirgenme potansiyel farklarının azaltılmasında etken madde olarak kullanıldığı literatürde rapor edilmektedir [28-30].

CoNi alaşımların elektriksel özelliklerinden en fazla, dış manyetik alan karşısında değişen mıknatıslanma, öz direnç ve manyeto rezistans (MR) gibi özellikleri incelenmektedir. Uygulanan dış manyetik alan şiddeti değiştirildiği zaman elektriksel direnç değerinde de değişimler meydana gelir. CoNi gibi ferromanyetik malzemelerde, MR değeri akımın manyetik alana paralel (boyuna) olduğu durumlarda artan manyetik alan ile artmakta (Boyuna MR, BMR) ve dik olduğu durumlarda da (Enine MR, EMR) azalmaktadır. Bu durum Anizotropik Manyeto Rezistans (AMR)" olarak da adlandırılır. Manyetik filmlerdeki MR değişim oranı, malzemenin cinsi, filmin kalınlığı, kristal yapısı, tane büyüklüğü ve filmin yüzeyine bağlıdır. CoNi alaşım içerisindeki kobalt miktarı artışıyla filmin öz direncinin arttığı yapılan çalışmalarda bildirilmektedir [31-33]. Yapılan bu çalışmada üretilen ince filmlerin koersivite, doyum manyetizasyonu ve kalıcı manyetizasyon özellikleri incelendi.

CoNi alaşım malzemelerin manyetik özellikleri, alaşım film içerisindeki madde miktarı ve kristal yapı özelliklerinden büyük oranda etkilenmektedir [34]. Malzemelerin manyetik özelliklerini, ters yönde zorlayıcı alan kuvveti olan koersivite (Hc) değeri, doyum manyetizasyon (Ms) değeri ve manyetik etki sonrası malzeme üzerindeki kalıcı manyetizasyon (Mr) yani artık mıknatısiyet belirlemektedir. CoNi alaşımı içerisindeki kobalt miktarı, malzemenin tane büyüklüğü, manyeto kristal anizotropi, Hc, Ms ve Mr değerlerine büyük etki etmektedir [35]. Manyetik malzemelerin Hc, Ms ve Mr değerleri histerezis eğrisi grafiklerinden bulunabilmektedir [36].

Demir (Fe), Ni, Co ve bunların bileşiminden oluşan CoFe, CoNi, NiFe gibi alaşımlar, en önemli ferromanyetik malzemelerdir [37]. Ferromanyetik malzemeler Hc değerine göre sert manyetik (Hc>12.6 Oe) ve yumuşak manyetik malzemeler (Hc<12.6 Oe) olarak iki grupta incelenir [38]. Birçok manyetik malzemedeki yüksek Ms, düşük Hc değeri istenir. Hc değerinin düşürülmesi için daha küçük tane boyutlu malzemeler, banyo kompozisyonu içerisine katılan çeşitli katkı maddeleri, farklı alt tabakalar ve farklı üretim teknikleriyle yapılmaya çalışılmaktadır [39,40].

Bu çalışmada; CoNi alaşım ince film kaplamalar, banyo kompozisyonu içerisine organik tiyoüre ve kumarin ek katkı maddeleri katılarak ve katkısız olarak elektrodepolama yöntemiyle üretildi. Üretilen filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine ek katkıların etkisini belirleyebilmek için; dönüşümlü voltametri (CV), taramalı elektron mikroskopu (SEM), X ışını difraktometresi (XRD), indüktif eşleşmiş plazma (ICP) ve titreşimli örnek manyetometre (VSM) analizleri yapıldı.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODS)

Kobalt nikel alaşım ince film kaplamalar 2.89 cm²'lik kare şeklinde yüzey alana sahip alüminyum altlıklar üzerine depolandı. Filmler, organik tiyoüre ve kumarin ek katkı maddeleri içeren ve ek katkı içermeyen farklı üç banyo kompozisyonundan üretildi. Altlıkları üretime hazır hale getirmek için altlık yüzeyi önce saf su içerisinde temizlendi ve 1 Mol.L⁻¹ sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi içerisinde dağlandı. Daha sonra yüzeyi silinerek pürüzlülüğü giderilerek parlatıldı ve tekrar ikinci kez saf su ile temizlenerek iyice kurutuldu. Depolama sırasında çözelti sürekli olarak bir manyetik karıştırıcıyla 400 d/dk sabit hızda karıştırıldı ve ısıtıcıyla sıcaklığı 75 °C'de sabit tutuldu. Depolanma işlemi üretilen bütün ince film kaplamalar için galvanostatik olarak 173.01 A.m⁻²'lik sabit doğru akımda hazırlanan 50 mL'lik çözeltiler içerisinde gerçekleştirildi.

Tablo 1. CoNi alaşımı İnce film banyo kompozisyonu ve üretim verileri

Banyo No	Filmin Adı	Elektrolit İçerisindeki Maddeler (Mol.L ⁻¹)					
		Kobalt Sülfat (CoSO ₄ .7H ₂ O)	Nikel Sülfat (NiSO ₄ .6H ₂ O)	Nikel Klorür (NiCl ₂ .6H ₂ O)	Borik Asit (H ₃ BO ₃)	Tiyoüre (CH ₄ N ₂ S)	Kumarin (C ₉ H ₆ O ₂)
1	Co ₆₈ Ni ₃₂	0.08	0.10	0.20	0.25	0.00	0.00
2	Co ₄₄ Ni ₅₆	0.08	0.10	0.20	0.25	0.00	0.22
3	Co ₃₄ Ni ₆₆	0.08	0.10	0.20	0.25	0.20	0.00

Elektrodepolama işleminde ince film kaplama işlemi; gerilim ve akım kontrolünü sağlayan bir potansiyostatla beraber, karşıt elektrot olarak platin tel, referans elektrot olarak doyumlu kalomel elektrot (SCE) ve çalışma elektrotu olarak alüminyum altlıkların kullanıldığı 3 elektrotlu üretim sistemiyle gerçekleştirildi. Üretilen ince film kaplamaların banyo kompozisyonları Tablo 1'de verildi. pH değeri sodyum hidroksit ve hidroklorik asit (HCl) kullanılarak ayarlandı ve bir pH metreyle (Hanna Scientific pH-meter) ölçülerek bütün deneylerde sabit değerde (4.5) tutuldu. CoNi alaşım ince filmlerin en uygun depolanma akımı ve potansiyelini belirlemek için +0.60 V ve -1.70 V aralığında 10 mVs⁻¹ tarama hızında dönüşümlü voltmetri (CV) deneyleri gerçekleştirildi.

Tablo 1'de verilen CoNi alaşım ince film kaplama banyolarında yüksek saflığa sahip Merck marka, nikel (II) klorür (NiCl₂.6H₂O), nikel sülfat (NiSO₄.6H₂O), kobalt sülfat (CoSO₄.7H₂O), borik asit (H₃BO₃), tiyoüre (CH₄N₂S) ve kumarin (C₉H₆O₂) kimyasal malzemeleri kullanıldı. Banyo kompozisyonları içerisindeki kobalt Co²⁺, nikel Ni²⁺ metal iyon konsantrasyonları (Co %23.69, Ni %74.31) ile 0.25 Mol.L⁻¹ borik asit (H₃BO₃) miktarı sabit tutuldu. Co₆₈Ni₃₂ (Banyo no 1) ince filmi kaplama banyosu içerisine ek katkı madde katılmadan üretildi. Co₄₄Ni₅₆ (Banyo no 2) ince filmi kaplama banyosuna kumarin, Co₃₄Ni₆₆ (Banyo no.3) ince filmi kaplama banyosuna tiyoüre ek katkı maddeleri katıldı.

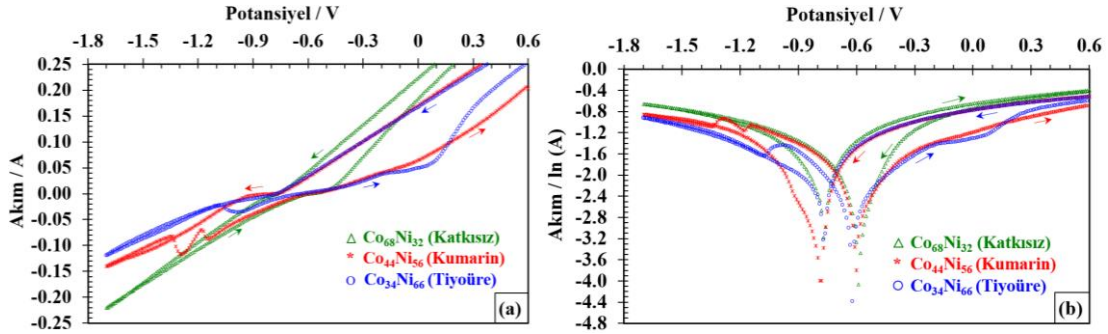
CoNi alaşım ince film kaplamaların içeriğindeki nikel ve kobalt konsantrasyon oranları indüktif eşleşmiş plazma (ICP) deneyleri ile belirlendi. Üretilen filmlerin kristalografik yapısı Rigaku marka bir X ışını difraktometresi (XRD) ile analiz edildi. XRD ölçümleri; 3.0251 derece/dk tarama hızında, 40 kV, 30 mA, CuKα ışınımı (λ = 1.5418 Å) ve 5° ile 90° aralığında yapıldı. İnce film kaplamaların yüzey morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskopu (SEM, JEOL JSM-5500LV, Japan) ile analiz edildi. Manyetik özellikleri belirlemek için titreşimli örnek manyetometre (VSM) ölçümleri, 300 K sabit sıcaklık ve -75 ila +75 kOe aralığında, manyetik alan değişmesine karşı oluşan manyetizasyon (emu/g) ölçümleri histerezis eğrisi elde edilecek şekilde gerçekleştirildi.

3. DENEYSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

3.1 CoNi Alaşımların Elektrodepolanması ve CV Analizleri (Electrodeposition of the CoNi Alloys and CV Analysis)

Üretilen CoNi alaşım ince filmlerin elektrokimyasal karakterizasyon davranış özellikleri, depolanma potansiyeli ve akım değerinin tespit edilebilmesi için dönüşümlü voltmetri (CV) deneyleri, 10 mV.s⁻¹ tarama hızında alüminyum altlıklar (2.89 cm²) üzerine yapıldı. Deneyde elde edilen ölçme sonuçları Şekil 1(a)'da akım-gerilim (I-V), Şekil 1(b)'de ln I -V şeklinde grafik olarak verildi. CV deneyleri +0.60 V ile -1.70 V aralığında gerçekleştirildi.

Ek katkısız olarak hazırlanan ve Tablo 1’de banyo kompozisyonu verilen $Co_{68}Ni_{32}$ ince filminin CV deneyi I-V grafiği Şekil 1(a)’da verildi. Grafikte görüldüğü gibi, +0.60 V pozitif değerden negatif yöne doğru $10\text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ tarama hızında başlatılan deneyde -0.77 V değerine kadar anodik yönde akım geçişi oldu ve herhangi bir depolanma olmadı. Uygulanan potansiyel değeri negatif yönde -0.77 V’ a ulaştığında katodik yönde akım geçişi başladı ve altlık üzerinde depolanma başladı. Şekil 1(a)’da görüldüğü gibi depolanma ve çözünme potansiyelleri arasında meydana gelen farktan dolayı katodik ve anodik akımlar arasında bir çaprazlanma (crossover) oluşur [41,42]. Meydana gelen bu çaprazlanma elektrot üzerinde oluşan çekirdeklenmeyi işaret eder [43]. Deney sırasında depolanmanın göstergesi olan baloncukların hidrojen gazı çıkışına eşlik ettiği ve daha çok altlık üzerinde yoğunlaştığı görüldü. Katodik yönde geçen akım şiddeti uygulanan potansiyel değeri -0.86 V’ a ulaştıktan sonra hızla artmaya başladı ve -1.70 V değerinde maksimum 0.2203 A ’ e ulaştı. Depolanma akım şiddetinin artmasıyla hidrojen gaz çıkışı ve baloncuklarının da artışı gözlemlendi. Negatif yönden -1.70 V pozitif yöne doğru +0.6 V potansiyel uygulanmaya başlandığında -0.59 V değerine kadar katodik yönde akım geçişi ve depolanma devam etti. Ancak -0.59 V değerinden +0.6 V değerine kadar anodik yönde akım geçişinin başlamasıyla altlık üzerinde depolanmış ince film kaplamanın çözünmeye başladığı görüldü. Bu çözünme ve depolanma potansiyellerinin başladığı değerler Şekil 1(b)’de verilen ln I-V grafiklerinde de görülmektedir.



Şekil 1. CoNi ince filmlerin üretimi için; ek katkısız ($Co_{68}Ni_{32}$), kumarin ($C_9H_6O_2$) katkılı ($Co_{44}Ni_{56}$) ve tiyöüre (CH_4N_2S) katkılı ($Co_{34}Ni_{66}$) olarak hazırlanan banyolardan elde edilen CV deneyleri **a)** I-V grafikleri **b)** ln I- V grafikleri

Organik kumarin ($C_9H_6O_2$) ek katkı maddesinin kullanıldığı Tablo 1’de verilen 2 nolu banyo kompozisyonundan elde edilen CV grafikleri Şekil 1(a) ve Şekil 1(b)’de verildi. Banyo kompozisyonunda kumarinin kullanılması katodik yönde akım geçişi başlangıç değeri depolanma potansiyelini negatif yönde -0.77 V’ dan -0.79 V değerine yükseltti. Negatif yönde uygulanan potansiyel değeri -1.70 V olduğunda katodik akım değeri maksimum -0.1402 A değerine ulaştı. Negatif yönden (-1.70 V) pozitif yöne doğru (+0.60 V) tarama yapıldığında -0.61 V’ da anodik yönde akım geçişi başladı ve altlık üzerinde çözünme gözlemlendi.

CoNi alaşım kaplama banyosuna (Tablo 1, Banyo no 3) organik tiyöüre (CH_4N_2S) ek katkı maddesi katıldığında ise, Tablo 1’de verilen Banyo no 1’deki ince film kompozisyona göre, depolanmanın başlangıç potansiyeli Şekil 1(a) ve Şekil 1(b)’de görüldüğü gibi -0.77 V değeri değişmedi. Ancak -1.70 V potansiyel değerinde katodik yöndeki akım geçişi maksimum değeri -0.119 A değerine düştü. Depolanmış filmde çözünmenin başladığı anodik yönde akım geçiş başlangıç değeri ise -0.59 V’ dan -0.63 V değerine yükseldi.

Şekil 1’de verilen grafiklerde görüldüğü gibi, kumarin CoNi alaşım ince filmin depolanma potansiyelini negatif yöne doğru kaydırarak ve akım geçişini azalttı. Tiyöüre katıldığında depolanma potansiyeli aynı kalmasına rağmen akım verimliliği büyük oranda düştü. Kumarin ve tiyöürenin varlığı hidrojen iyonlarını engelleyerek nikelin depolanmasını kolaylaştırdı, kobaltın depolanmasını ise zorlaştırdı. Literatürde; banyo kompozisyonu içerisine katılan organik ek katkı maddelerinin, altlık yüzeyine tutunan metal iyonlarını engelleyerek depolanmayı zorlaştırdığı, yük transferini, çekirdeklenmeyi ve kristal yapı gelişimini örgü içerisine nüfuz ederek değiştirdiği birçok çalışmada rapor edilmektedir [44-46].

3.2 ICP Analizleri (ICP Analysis)

CoNi alaşım ince filmlerin içeriğindeki metal iyon madde miktarı oranları ICP deneyleri ile belirlendi ve sonuçları Tablo 2’de verildi. Ek katkısız üretilen $\text{Co}_{68}\text{Ni}_{32}$ ince filmin banyo içeriğindeki kobalt iyon miktarı %23.69, nikel metal iyon miktarı %76.31 iken depolanan film içerisinde kobalt % 67.94 nikel %32.06 olarak tespit edildi. Elektrolit içeriğindeki kobalt Co^{2+} ve nikel Ni^{2+} metal iyon miktarı oranlarının depolanan ince filmlerin içeriğindeki kobalt-nikel madde miktarı oranlarının aynı olmayıp farklı olmasının nedeni anormal depolanma davranışı sergilemeleridir. Daha az soy olan kobalt Co^{2+} iyonlarının tercihli olarak nikel Ni^{2+} iyonlarına göre katot yüzeyinde daha fazla depolanması anormal depolanma olarak adlandırılmaktadır [47-49].

Tablo 2. İnce film ve elektrolit içeriğindeki Co, Ni madde miktarı oranları

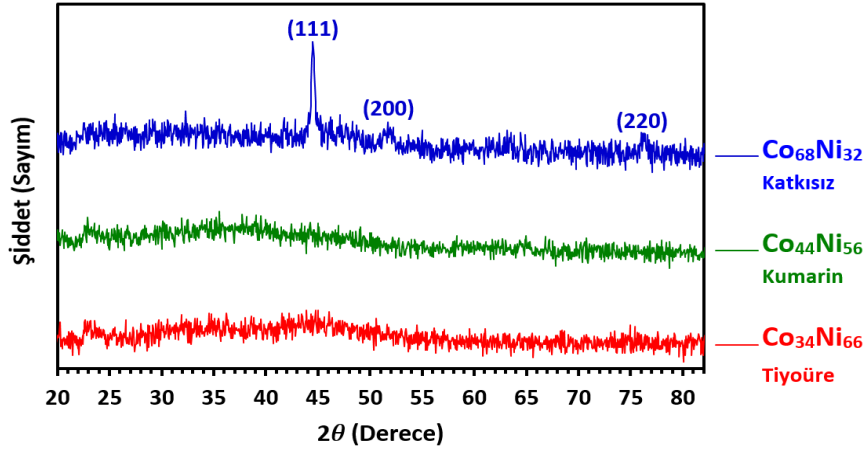
Film No	Elektrolit İçeriğindeki			Film İçeriğindeki	
	% Co	% Ni	Ek Katkı	% Co	% Ni
$\text{Co}_{68}\text{Ni}_{32}$	23.69	76.31	Yok	67.94	32.06
$\text{Co}_{44}\text{Ni}_{56}$	23.69	76.31	Kumarin	43.82	56.18
$\text{Co}_{34}\text{Ni}_{66}$	23.69	76.31	Tiyöüre	34.33	65.67

Banyo kompozisyonu içeriğindeki kobalt Co^{2+} ve nikel Ni^{2+} metal iyon konsantrasyon oranları sabit tutulup, kumarin katıldığında Tablo 2’de verilen $\text{Co}_{44}\text{Ni}_{56}$ alaşım ince filmi depolandı. Katkısız olarak üretilen $\text{Co}_{68}\text{Ni}_{32}$ filmine göre; depolanan film içeriğindeki kobalt miktarı %43.82’ye düştü, nikel %56.18’e yükseldi [44]. Banyo kompozisyonuna tiyöüre katıldığında $\text{Co}_{34}\text{Ni}_{66}$ alaşım filmi depolandı ve kobalt miktarının %34.33’e düştüğü nikelin %65.67’ye yükseldiği belirlendi [50]. Banyo kompozisyonu içerisine katılan organik ek katkı maddeleri katot yüzeyinde adsorbe edilmekte ve depolanmayı, kristal oluşma işlemlerini, filmin kalitesini, yüzey parlaklığını, pürüzlülüğünü, tane büyüklüğünü, depolanma potansiyeli ve akımını etkilemektedir [20,51,52]. Banyo kompozisyonuna organik kumarin ve tiyöüre ek katkı maddesi katıldığında depolanma potansiyelinin (Şekil 1(a) ve Şekil 1(b)’de negatif bölgeye doğru kaydığı, yük transferi ve altlık üzerine yüzey difüzyonunu engellemesi nedeniyle akım değerinin düştüğü CV grafiklerinde görülmektedir [22,53]. CoNi alaşım ince filmlerin elektrodepolanmasında akım değeri 173.01 A.m^{-2} olarak sabit tutuldu. Kumarin ve tiyöüre katılmasıyla düşen akım değerini 173.01 A.m^{-2} de sabit tutabilmek için depolama potansiyeli artırıldı, potansiyelin artırılması film içeriğindeki Co^{2+} metal iyonlarının azalarak %34.33’e düşmesine nikel Ni^{2+} metal iyonlarının ise %65.67’ye yükselmesine neden oldu [44].

CoNi alaşım ince film kaplamaların manyetik özellikleri, depolanan filmin kristal yapısına, film içeriğindeki kobalt ve nikel konsantrasyon oranlarına bağlıdır. Bu alaşımlar sert ve yumuşak manyetik malzeme özelliği gösterebilmektedir. Bunlara bağlı olarak koersivite katsayısı (Hc), kalıcı manyetizasyon (Mr) ve doyum manyetizasyonu (Ms) gibi değerleri değişmektedir [54,55].

3.3 XRD Analizleri (XRD Analysis)

Üretilen CoNi alaşım ince film kaplamaların kristal yapılarını inceleyebilmek için XRD ölçümleri gerçekleştirildi ve ölçme sonuçları Şekil 2’de grafik olarak verildi. XRD analizleri grafiğinde, ek katkı maddesi olmadan üretilen $\text{Co}_{68}\text{Ni}_{32}$ alaşım ince filminin, kristal bir yapıya sahip olduğu, kristal yönelimi piklerinin (111), (200) ve (220) doğrultularında olduğu görüldü. Elde edilen piklerde şiddeti en büyük ve baskın olan pikin yöneliminin (111) doğrultusunda, örgü sabiti (latis) değerinin $a = 3.5239 \text{ Å}$, kristal yapısının yüzey merkezli kübik (fcc) yapıda ve β fazında olduğu tespit edildi. $\text{Co}_{68}\text{Ni}_{32}$ alaşım ince filminin analiz sonuçlarının Uluslararası Kırınım Verileri Merkezi (ICDD, 01-074-5694) verileriyle uyumlu olduğu tespit edildi [5,56,57].



Şekil 2. İnce film kaplamaların XRD analiz sonuçları grafiği ($Co_{68}Ni_{32}$, $Co_{44}Ni_{56}$, $Co_{34}Ni_{66}$)

XRD analizleri ile kristallerin yapısı, saflığı, doğrultuları ve örgü sabitleri belirlenebilmektedir. Kristal yapıların bilinmesi faz dönüşümü, alaşımın biçimi, şekil değiştirmenin anlaşılabilmesi için ön şarttır. Kristal yapı içerisinde piklerin şiddetleri birim hücre içerisindeki atomların dizilişini, yansıma pikleri ise açılal pozisyonları birim hücre şekli ve boyutu belirler. Katı malzemelerde atomlar (iyonlar), belirli bir örnek biriminin üç boyutlu bir düzen içerisinde tekrarından periyodik bir yapı oluşturduğunda tek bir kristal yapı olarak adlandırılır. Çok kristalli malzemelerde tane sınırlarında bu tekrar eden periyodiklik kesintiye uğrar ve atomların düzenli yapısı tahrip olur. Ancak kristalleşme sırasında tanecikler arasında kalan atomlar komşu taneciklere uyum sağlayamaz ve düzensiz bir bölge oluştururlar. Atomların rastgele bir düzen içerisinde oluşturduğu bu tür malzemeler amorf malzemeler olarak adlandırılır. Amorf malzeme katı gibi davranan bir sıvının atomik yapısına sahiptir [20-58].

Organik ek katkı maddesi kumarin ve tiyoüre katılarak üretilen $Co_{44}Ni_{56}$ ve $Co_{34}Ni_{66}$ alaşım ince filmlerin Şekil 2’de verilen XRD grafiğinde görüldüğü gibi yansıma pikleri elde edilemedi. Bu durum depolama sırasında altlıklar üzerinde kristalleşme çekirdeklenmesinin meydana gelmesine rağmen, oluşan kristal taneciklerinin arasına kumarin ve tiyoüre katkı maddelerinin örgü içerisine girmesiyle düzenli bir yapı oluşmadığı, atomların komşularıyla uyum sağlayamadığı için amorf bir yapı meydana geldiği düşünülmektedir [59,60]. Daha önce yapılan birçok çalışmada banyo kompozisyonu içerisine tiyoüre ve kumarinin katılmasının metal ve alaşımlarının depolanmasında kristal yapının oluşmasını baskı altına alarak kristalleşmeyi engellediği ve amorf bir yapı meydana gelmesine neden olduğu belirtilmektedir [61,62].

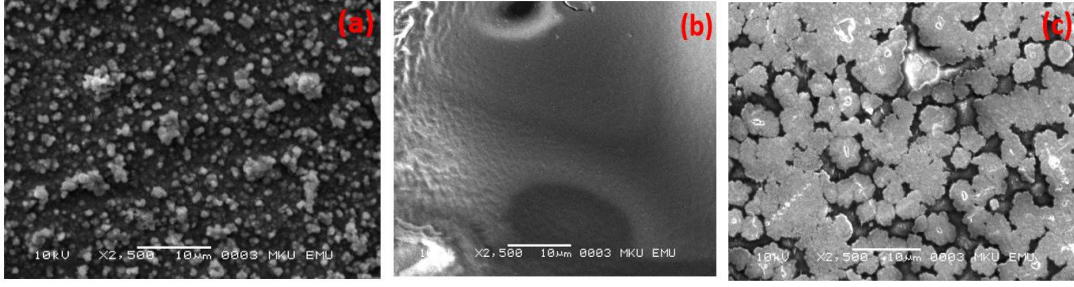
Tane büyüklüğü XRD analizlerinden bulunabilmektedir. XRD sonuçlarına göre en büyük ve baskın olan pik (111) verilerinden Denklem 1’de verilen Debye Scherrer eşitliği kullanılarak yapılan hesaplamada tane büyüklüğü 29.7 nm olarak bulundu. Denklem 1’de verilen eşitlikte; D tane büyüklüğü, β en büyük şiddete sahip pikin maksimum değerinin yarısı (FWHM), λ X-ışını dalga boyu ve θ değeri X-ışını kırınım açısıdır [63].

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta}$$

1

3.4 İnce Film Yüzeylerinin İncelenmesi (Examination of the Thin Film Surfaces)

Ek katkısız olarak ve organik kumarin ile tiyoüre katılarak üretilen ince film kaplamaların yüzey morfolojik özelliklerini incelemek için alınan SEM görüntüleri Şekil 3’de verildi. Şekil 3(a)’da ek katkı madde olmadan üretilen $Co_{68}Ni_{32}$ alaşım ince filmde kristalleşme ve tanecikli yapının oluştuğu görülmektedir. SEM görüntüsünün XRD ölçümlerinde elde edilen analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğu ve sonuçların birbirini doğruladığı tespit edildi. Şekil 3(b)’de organik kumarin, Şekil 3(c)’de organik tiyoüre katılarak üretilen ince filmlerin SEM görüntüleri verildi. Her ikisinde de altlık üzerinde film oluşmasına rağmen düzgün bir kristalleşme ve taneciklenmenin oluşmadığı, amorf bir yapı meydana geldiği görüldü.



Şekil 3. İnce filmlerin SEM görüntüleri; **a)** Ek katkısız $Co_{68}Ni_{32}$, **b)** Kumarin katkılı $Co_{44}Ni_{56}$ **c)** Tiyöüre katkılı $Co_{34}Ni_{66}$

Şekil 2’de verilen kumarin ve tiyöürenin XRD analiz grafiklerinde, kristalleşmenin göstergesi olan X-ışını yansıma piklerinin elde edilememesi amorf bir yapı oluştuğunu doğrulamaktadır. Üretilen bütün ince filmlerin yüzeyleri düzgün ve parlak görünümündü, ancak kumarin katkılı ince filmin yüzeyinin daha düzgün ve parlak olduğu görüldü [64]. Kumarin ve tiyöüre gibi organik katkı maddelerinin katılması, ince film kaplamalarda daha küçük tanecikli ve parlak bir yüzey elde edilmesine, kristal yapının oluşmasında ve depolanan madde miktarı üzerinde önemli derecede etkili olduğu daha önceki yapılan çalışmalarda rapor edilmektedir [22,25,65]. Ancak bu malzemelerin manyetik özellikleri üzerine yapılmış yeterli çalışma bulunmamaktadır.

3.5 Manyetik Özellikler (Magnetic Properties)

Elektronların spin ve yörüngesel hareketlerinden kaynaklanan manyetik momentler atomik düzeyde manyetizasyona sebebiyet verir. Elektronların spinleri zıt yönlüdür ve çiftlenmiş halde bulunurlar. Çiftlenmiş elektronlar söz konusu ise net manyetik moment oluşmaz. Sıfır net manyetik momente sahip olmasına rağmen, uygulanan alana belirli bir şekilde tepki veren, manyetik alınganlıkları sıfırdan küçük olan malzemelere diyamanyetik malzemeler denir. Zayıf bir manyetik alan dahi uygulandığında, birbirlerine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipollere sahip malzemelere ferromanyetik malzemeler denir. Ferromanyetik malzemelerde uygulanan manyetik alan kaldırıldığında manyetik dipollerin yöneliminde bir değişiklik olmaz ve kalıcı manyetik özellik kazanırlar. Paramanyetik malzemeler çiftlenmemiş elektronlara sahiptir. Manyetik alan uygulanmadığında atomik momentler birbirini yok eder ve net bir mıknatıslanma oluşmaz. Buna karşı manyetik alan uygulandığında atomik manyetik momentler manyetik alan doğrultusunda yönlendirilir ve malzemede uygulanan manyetik alan yönünde az da olsa bir mıknatıslanma meydana gelir. Bu tür maddelere paramanyetik maddeler denir. Manyetik alan kaldırıldığında kalıcı manyetizasyon göstermezler [33,66].

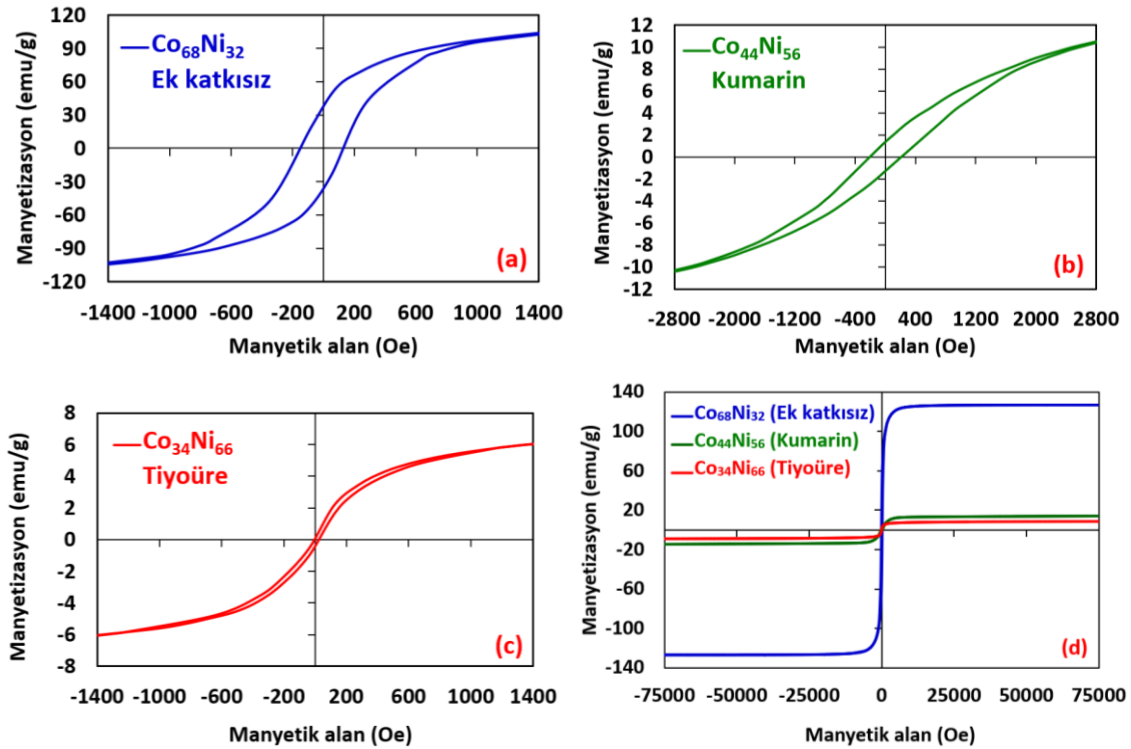
Bir malzeme üzerine manyetik alan uygulandığında manyetizasyon meydana gelir. Histerezis eğrileri uygulanan manyetik alana karşı oluşan manyetizasyonu gösterir. Bu eğrilerden bir malzemenin, ferromanyetik, paramanyetik veya diyamanyetik olup olmadığı anlaşılabilir. Eğer elde edilen histerezis eğrisinin alanı küçükse yüksek manyetik geçirgenlik ve düşük zorlayıcı kuvvete (koersivite) sahiptir. Bu tür malzemeler yumuşak mıknatıslardır. Büyük alana sahip bir histerezis eğrisi sert bir manyetik malzeme göstergesi olup bu malzemelere sert mıknatıs denir. Histerezis eğrisinin daralması malzemenin kolay mıknatıslanabileceğini ve düşük artık mıknatıslanmaya sahip olacağını, geniş olması ise malzemenin zor mıknatıslanabileceğini ve daha kuvvetli bir artık mıknatıslanmaya sahip olacağını gösterir [66].

Manyetik malzemelerin koersivite, doyum manyetizasyonu ve kalıcı manyetizasyon değerleri VSM ölçümlerinden elde edilen histerezis eğrisi grafiklerinden bulunabilmektedir [36]. Demir, nikel, kobalt ve bu malzemelerin alaşımları ferromanyetik malzemeler olup, uygulanan manyetik alan (+) veya (-) yönde değiştirilerek artırıldığında malzeme üzerinde manyetik momentler meydana gelmektedir [37]. Manyetik alan, uygulanan alan yönünde dizilir ve belirli bir değerden sonra manyetik alan değeri artırılırsa da oluşan manyetizasyon değeri değişmez bu değere doyum manyetizasyonu (M_s) denir. Bir malzeme üzerinde dış manyetik alan etkisi sıfırda ölçülen manyetizasyon değeri kalıcı mıknatıslanma (M_r), artık mıknatıslanma veya remanans olarak adlandırılır. Manyetik malzemeler üzerinde oluşan kalıcı manyetizasyon değerini sıfıra indirmek için uygulanan ters yöndeki zorlayıcı manyetik alan değeri koersivite (H_c) olarak adlandırılır [66].

CoNi alaşım malzemelerin manyetik özelliklerini, alaşım içerisindeki madde miktarı ve kristal yapı özellikleri etkilemektedir. CoNi alaşımı içerisindeki kobalt miktarı, manyeto kristal anizotropi, tane büyüklüğü ve o malzemenin özellikle Hc, Ms ve Mr değerlerine büyük oranda etki etmektedir [67,68]. İnce film kaplama banyolarında, organik kumarin ve tiyoüre gibi ek katkı maddeleriyle, malzemenin kristal yapısı, tane büyüklüğü ve yüzey morfolojisini değiştirip düşük koersiviteli malzemeler üretilmeye çalışılmaktadır. Manyetik malzemeler, Hc değeri 12.6 Oe'den büyükse sert manyetik, küçükse yumuşak manyetik malzeme olarak adlandırılır [38].

3.6 VSM Ölçümleri ve Analizleri (VSM Measurements and Analysis)

Üretilen $Co_{68}Ni_{32}$, $Co_{44}Ni_{56}$, $Co_{34}Ni_{66}$ alaşım ince filmlerin manyetik özellikleri VSM ölçümleri yapılarak incelendi. VSM ölçümleri yapılan numunelerin her biri tartıldı ve manyetizasyon birimi kütle cinsinden emu/g olarak alındı [58]. Manyetizasyon birimi yoğunluk cinsinden emu/cm³ olarak da alınabilmektedir [38]. Kompozit ve amorf malzemelerde XRD verileriyle yoğunluk kesin olarak doğrulanmadığı için kütle birimi cinsinden emu/gr'da tercih edilmektedir. VSM yöntemiyle 300 K sabit oda sıcaklığında, uygulanan manyetik alan şiddeti +75000 Oe ile -75000 Oe ve -75000 ile +75000 Oe arasında değiştirilerek alaşım filmler üzerine meydana gelen manyetizasyon (emu/g) değerleri ölçüldü ve Şekil 4'de verilen histerezis eğrileri elde edildi.



Şekil 4. İnce filmler üzerine uygulanan manyetik alan karşısında oluşan manyetizasyon (histerezis) eğrileri; a) +1400 ile -1400 Oe arasında b) +2800 ile -2800 Oe arasında c) +1400 ile -1400 Oe arasında d) +75000 ile -75000 Oe arasında

Histerezis eğrilerinden Ms, Hc, Mr değerleri bulundu ve sonuçları Tablo 3 içerisinde verildi. Histerezis eğrisi sonuçları üretilen her üç alaşım film kaplamanın ferromanyetik malzeme davranışı sergilediğini gösterdi [69].

Tablo 3. Histerezis eğrisi analiz sonuçları

Film No	Hc (Oe)	Mr (emu/g)	Ms (emu/g)
$Co_{68}Ni_{32}$	140.5	37.00	126.90
$Co_{44}Ni_{56}$	210.0	1.32	14.38
$Co_{34}Ni_{66}$	14.0	0.24	8.85

Ek katkısız olarak elektrodepolamayla üretilen $\text{Co}_{68}\text{Ni}_{32}$ alaşım filminin, +1400 Oe ile -1400 Oe arasında değişen manyetik alan karşısında meydana gelen manyetizasyon değeri ölçümleri Şekil 4(a)'da histerezis eğrisi şeklinde grafik olarak verildi. Histerezis eğrisinden Hc değeri 140.5 Oe, Ms 126.90 emu/g ve Mr değeri 37 emu/g olarak bulundu. Hc değerinin 140.5 >12.6 Oe'den büyük olması nedeniyle sert manyetik malzeme özelliği gösterdiği tespit edildi [38].

Şekil 4(b)'de organik kumarin katılarak üretilen $\text{Co}_{44}\text{Ni}_{56}$ alaşım ince filminin +2800 Oe ile -2800 Oe arasında değişen manyetik alan karşısında ölçülen manyetizasyon değeri sonuçları histerezis eğrisi şeklinde grafik olarak verildi. Organik katkı maddesi kumarinin katılması Hc değerini katkısız olarak üretilen ince film kaplamaya göre 210 Oe değerine yükselterek sert manyetik malzeme özelliği göstermesine, Ms değerinin 14.38 emu/g, Mr değerinin 1.32 emu/g'a düşmesine neden oldu. CoNi ince film banyo kompozisyonu içerisine kumarin katılması Hc değerini yükseltmiş, Ms değerini ise Şekil 4(d) görüldüğü gibi büyük oranda düşürmüştür. Mr değerinin 37 emu/g'dan 1.32 emu/g değerine büyük oranda düşmesi iki nedenden kaynaklanabilir. Bunlardan birincisi Tablo 2'de ki ICP analiz sonuçlarında görüldüğü gibi, CoNi alaşım film içerisindeki Co madde miktarının %67.94'den %43.82'ye düşmesinden [40,70], ikincisi de SEM ve XRD analiz sonuçlarında tespit edildiği gibi $\text{Co}_{44}\text{Ni}_{56}$ alaşım ince film kaplamanın amorf malzeme özelliği göstermesinden kaynaklanmaktadır [71]. Literatürde amorf özellik gösteren manyetik malzemelerin manyetik momentlerinin (Ms) kristal yapıdaki manyetik malzemelere göre çok daha düşük değerlere sahip olduğu rapor edilmektedir [72,73].

Şekil 4(c)'de tiyoüre katılarak üretilen $\text{Co}_{34}\text{Ni}_{66}$ alaşım ince film kaplamanın +1400 Oe ile -1400 Oe arasında değişen manyetik alan karşısında ölçülen manyetizasyon değeri grafik olarak verildi ve histerezis eğrisi elde edildi. Banyo kompozisyonu içerisine organik tiyoüre katılması, ek katkısız üretilen ince film malzemenin manyetik özelliklerine göre büyük etkide bulundu ve Hc değerinin 14 Oe, Mr değerinin 0.24 emu/g'a ve Ms değerinin 8.85 emu/g'a düşmesine neden oldu. Bunun nedeni kumarin maddesinde olduğu gibi tiyoüre katılarak üretilen $\text{Co}_{34}\text{Ni}_{66}$ alaşım film kaplamanın kristal yapısının XRD ve SEM analizleriyle de tespit edildiği gibi amorf malzeme özelliği göstermesi ve içeriğindeki kobalt miktarının azalmasıdır. Organik tiyoüre katılarak üretilen alaşım ince film kaplamanın Hc değeri, manyetik malzemelerde istenilen yumuşak manyetik malzeme özelliğine (14 >12.6 Oe) çok yakın değerdedi, ancak Ms malzemenin amorf özellik göstermesi nedeniyle düşük değerde elde edildi.

Birçok manyetik malzemede yüksek Ms düşük Hc değeri istenmektedir. Bu amaçla organik ek katkı maddeleri, elektrodepolamayla üretilen banyo kompozisyonları içerisinde kullanılarak, filmin tane büyüklüğü ve kristal yapısını kontrol edip istenilen manyetik özelliklere sahip malzemeler üretilmeye çalışılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada; CoNi alaşım ince film kaplama banyosuna organik tiyoüre ve kumarin maddelerinin katılması, ek katkısız olarak üretilen ince film alaşımına göre, malzemenin kristal yapısına, Hc değerine, Ms ve Mr değerine büyük oranda etki ederek manyetik özelliklerini değiştirdiği görüldü. Ek katkı madde miktarı oranları veya ek katkı maddeleri değiştirilerek çok daha iyi sonuçların elde edilebileceği ve istenilen manyetik özelliklere sahip malzemelerin üretilebileceği görüldü. Literatürde, CoNi alaşımları içerisine tiyoüre ve kumarin katılarak üretilen malzemeler bulunmasına rağmen, bu malzemelerin manyetik özellikleri üzerine etkisi hakkında yeterli çalışma bulunmamaktadır. Yaptığımız bu çalışmanın, manyetik özelliklerle ilgili yapılacak bundan sonraki araştırmalara katkı sağlayacağı kanaatindeyiz.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Kobalt-Nikel alaşım ince film kaplamalar, ek katkısız olarak ve banyo kompozisyonu içerisine organik kumarin ve tiyoüre maddeleri ayrı ayrı katılarak elektrodepolama yöntemiyle üretildi. Üretilen filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine ek katkı maddelerinin etkileri CV, ICP, XRD, SEM ve VSM analizleri ile araştırıldı.

Ek katkısız olarak üretilen $\text{Co}_{68}\text{Ni}_{32}$ alaşım ince film kaplamanın XRD analizlerinde, kristal yapısının fcc olduğu, β fazında ve tane büyüklüğünün 29.7 nm ve film içeriğindeki kobalt miktarının % 67.94 nikel miktarının %32.06 olduğu tespit edildi.

Organik tiyoüre ve kumarin katılarak depolanan CoNi alaşım ince filmlerde kristalleşmenin oluşmadığı, amorf özellik gösterdiği XRD analizleri ve SEM görüntüleriyle tespit edildi. Ayrıca alaşım içerisinde

depolanan kobalt miktarı, kumarin katıldığında % 43.82'ye tiyoüre katıldığında %34.33'e düştüğü ve film içeriğindeki madde miktarını büyük oranda etkilediği görüldü.

CoNi alaşım film kaplamaların manyetik özelliklerini belirlemek için VSM tekniğiyle, uygulanan manyetik alan şiddeti -75000 Oe ile +75000 Oe arasında değiştirilerek meydana gelen manyetizasyon değerleri (emu/g) olarak ölçüldü. Histerezis eğrileri elde edilerek Ms, Hc ve Mr değerleri bulundu. Organik madde katılarak üretilen ince filmlerin amorf özellik göstermesi nedeniyle Ms (8.85 emu/g) ve Mr (0.24 emu/g) değerleri çok düşük değerlerde elde edildi. Hc'nin kumarin katıldığında 140.5 Oe'den 210 Oe'e çıktığı, tiyoüre katıldığında 14 Oe'e düştüğü görüldü. Üretilen ince film kaplamaların her üçünün de sert manyetik malzeme olduğu ve ferromanyetik malzeme davranışı sergilediği, histerezis eğrileriyle doğrulandı.

Banyo kompozisyonu içerisine organik kumarin ve tiyoüre katılarak, alaşım film içerisindeki; kobalt ve nikel madde miktarı, kristal yapı, tane büyüklüğü ve manyeto kristal anizotropiyi kontrol edip, istenilen yumuşak ve sert manyetik malzemelerin üretilebileceği görüldü.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, Kilis 7 Aralık Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: BAP-2014/02/LTP/05).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] F.Z. Bouzit, A. Nemamcha, H. Moumeni, J.L. Rehspringer, Morphology and Rietveld analysis of nano structured Co-Ni electrodeposited thin films obtained at different current densities, *Surface & Coatings Technology*, (2017) 172-180.
- [2] L. Wang, X. Lu, Y. Ye, L. Sun, Y. Song, Nickel-cobalt nanostructures coated reduced graphene oxide nano composite electrode for non enzymatic glucose, *Electrochimica Acta*, 114 (2013) 484-493.
- [3] X. Sun, Q. Yuan, D. Fang, H. Zhang, Electrodeposition and characterization of CoNiMnP permanent magnet arrays for MEMS sensors and actuators, *Sensors and Actuators A*, 188, (2012) 190-197.
- [4] H. Ateş, E. Bahceci, Nano Malzemeler için Üretim Yöntemleri, *GU J Sci Part C*, 3(2) (2015) 483-499.
- [5] A. Karpuz, H. Koçkar, M. Alper, The effect of different chemical compositions caused by the variation of deposition potential on properties of Ni-Co films, *Applied Surface Science*, 257 (2011) 3632-3635.
- [6] F. Noori, A. Ramazani, M.A. Kashi, Controlling structural and magnetic properties in CoNi and CoNiFe nanowire arrays by fine-tuning of Fe content, *Journal of Alloys and Compounds*, 756 (2018) 193-201.
- [7] N.S. Nguyen, G. Das, H.H. Yoon, Nickel/cobalt oxide-decorated 3D graphene nano composite electrode for enhanced electrochemical detection of urea, *Biosensors and Bioelectronics*, 77 (2016) 372-377.
- [8] W. Yan, D. Wang, G.G. Botte, Nickel and cobalt bimetallic hydroxide catalysts for urea electro-oxidation, *Electrochimica Acta*, 61 (2012) 25-30.
- [9] D. Kim, R. Shanmugam, M.R. Choi, B. Yoo, Formation of CoNi alloy thin films on silicon by electroless deposition, *Electrochimica Acta*, 75 (2012) 42-48.
- [10] S. Temel, M. Nebi, D. Peker, Sol-gel döndürerek kaplama tekniği ile saydam iletken ZnO ince filmlerin üretilmesi ve karakterizasyonu, *GU J Sci Part C*, 5(3) (2017) 51-59.
- [11] R. Özdemir, C.A. Korkmaz, İ.H. Karahan, Investigation of the structural and magnetic properties of the cobalt-nickel alloys fabricated in various electrolyte solutions, *Acta Physica Polonica A*, 132 (3) (2017) 1045-1049.

- [12] S. Yıldırım, Sol-Gel Döner Kaplama Yöntemiyle Oluşturulmuş Ta₂O₅ İnce Film Kondansatörün Düşük Sıcaklık Bölgesi Dielektrik Özellikleri ve AC İletkenlik Davranışı, GU J Sci Part C, 6(4) (2018) 851-861.
- [13] M.Y. Rafique, L. Pan, A. Farid, From nano-dendrite to nano-sphere of Co_{100-*x*}Ni_{*x*} alloy: Composition dependent morphology, structure and magnetic properties, Journal of Alloys and Compounds, 656 (2016) 443-451.
- [14] R. Özdemir, İ.H. Karahan, O. Karabulut, A study on the electrodeposited Cu-Zn alloy thin films, Metallurgical and Materials Transactions A, 47A (2016) 5609-5617.
- [15] R. Solmaz, G. Kardas, Electrochemical deposition and characterization of NiFe coatings as electrocatalytic materials for alkaline water electrolysis, Electrochimica Acta, 54 (2009) 3726-3734.
- [16] Y. Jeon, S. Choe, H.C. Kim, M.J. Kim, J.J. Kim, Electrodeposition of Cu-Ag films in ammonia-based electrolyte, Journal of Alloys and Compounds, 775 (2019) 639-646.
- [17] H. Kirou, L. Atourki, L. Essaleh, A. Taleb, M.Y. Messous, K. Bouabid, M. Nya, A. Ihlal, Towards phase pure Kesterite Cu₂ZnSnS₄ thin films via Cu-Zn-Sn electrodeposition under a variable applied potential, Journal of Alloys and Compounds, 783 (2019) 524-532.
- [18] M.A. Raj, S. Arumainathan, Comparative study of hydrogen evolution behavior of nickel-cobalt and nickel cobalt magnesium alloy film prepared by pulsed electrodeposition, Vacuum, 160 (2019) 461-466.
- [19] A. Brenner, Electrodeposition of Alloys Principles and Practice, Chap., Academic Pres. NewYork, (1963) 457.
- [20] M. Schlesinger, M. Paunovic, Modern Electroplating, (Fifth Edition) Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, (2010) p.737.
- [21] K.B. Gudasi, M.S. Patil, R.S. Vadavi, Synthesis, characterization of copper(II), cobalt(II), nickel(II), zinc(II) and cadmium(II) complexes of [7-hydroxy-4-methyl-8-coumarinyl] glycine and a comparative study of their microbial activities, European Journal of Medicinal Chemistry, 43 (2008) 2436-2441.
- [22] R. Fukui, Y. Katayama, T. Miura, The effect of organic additives in electrodeposition of Co from an amide-type, ionic liquid, Electrochimica Acta, 56 (2011) 1190-1196.
- [23] B. Sahin, F. Bayansal, M. Yuksel, N. Biyikli, H.A. Çetinkara, Effect of coumarin concentration on the physical properties of CdO nanostructures, Ceramics International, 40 (2014) 5237-5243.
- [24] G.M.D. Oliveira, I.A. Carlos, Silver-zinc electrodeposition from a thiourea solution with added EDTA or HEDTA, Electrochimica Acta, 54 (2009) 2155-2163.
- [25] A. Ciszewski, S. Posluszny, G. Milczarek, M. Baraniak, Effects of saccharin and quaternary ammonium chlorides on the electrodeposition of nickel from a Watts-type electrolyte, Surface and Coatings Technology, 183 (2004) 127-133.
- [26] K.R. Marikkannu, G.P. Kalaigan, T. Vasudevan, The role of additives in the electrodeposition of nickel-cobalt alloy from acetate electrolyte, Journal of Alloys and Compounds, 438 (2007) 332-336.
- [27] P. Cojocar, L. Magagnin, E. Gómez, E. Vallés, Electrodeposition of CoNi and CoNiP alloys in sulphamate electrolytes, Journal of Alloys and Compounds, 503 (2010) 454-459.
- [28] E. Gomez, J.G. Torres, E. Valles, Study and preparation of silver electrodeposits at negative potentials, Journal of Electroanalytical Chemistry, 594 (2006) 89-95.

- [29] D. Hamulić, I. Milošev, D.L. Hecht, The effect of the deposition conditions on the structure, composition and morphology of electrodeposited cobalt materials, *Thin Solid Films*, 667 (2018) 11-20.
- [30] Z. Feng, D. Li, Q. Sun, L. Wang, P. Xing, M. An, Insight into the role and mechanism of 2,2-bipyridine as a novel additive for nano-electrodeposition of Zn-Ni alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 765 (2018) 1026-1034.
- [31] M. Şafak, M. Alper, H. Koçkar, Parameters affecting microstructure and magnetoresistance of electrodeposited Co-Cu alloy films, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 304 (2006) 784-786.
- [32] H. Chiriac, M. Urse, M. Lozovan, A. E. Moga, On the galvanomagnetic and structural properties of granular $(\text{CoNi})_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$ thin films, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 2 (5) (2000) 693-697.
- [33] Ali Karpuz, Elektrodepozisyonla büyütülen NiCo filmlerinin karakterizasyonu ve manyetorezistans davranışının incelenmesi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi, (2011) Balıkesir.
- [34] Q. Xu, C.X. Sun, Z.J. Wang, J.J. Liu, Y.X. Ren, S.Z. Hao, J.L. Zhu, Y.B. Sun, H.Y. Sun, Preparation and characterization of iridescent $\text{Ni}_{1-x}\text{Co}_x$ containing anodic aluminum oxide films, *Dyes and Pigments*, 147 (2017) 313-317.
- [35] Q. Xu, Z.J. Wang, Y.G. Wang, H.Y. Sun, The effect of Co content on the structure and the magnetic properties of $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$ nanotubes, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 419 (2016) 166-170.
- [36] C.Y. Ho, T.H. Lin, Y.J. Chang, Influence of various annealed Ni-Co nanowire properties upon the capability of immobilization of histidine-tagged protein, *Journal of Alloys and Compounds*, 648 (2015) 726-731.
- [37] N. Fenineche, C. Coddet, Effect of electrodeposition parameters on the microstructure and mechanical properties of Co-Ni alloys, *Surface and Coatings Technology*, 41 (1990) 75-81.
- [38] A. Karpuz, H. Koçkar, M. Alper, Effect of film thickness on properties of electrodeposited Ni-Co films, *Applied Surface Science*, 258 (2012) 5046-5051.
- [39] D. Li, A. Levesque, A. Franczak, Q. Wang, J. He, J.P. Chopart, Evolution of morphology in electrodeposited nanocrystalline Co-Ni films by in-situ high magnetic field application, *Talanta*, 110 (2013) 66-70.
- [40] A. Karpuz, H. Koçkar, M. Alper, O. Karaagaç, M. Hacıismailoğlu, Electrodeposited Ni-Co films from electrolytes with different Co contents, *Applied Surface Science*, 258 (2012) 4005-4010.
- [41] İ.H. Karahan, R. Özdemir, Effect of Cu concentration on the formation of $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x$ shape memory alloy thin films, *Applied Surface Science*, 318 (2014) 100-104.
- [42] S. Olvera, E.M.A. Estrada, J.S. Marcos, F.J. Palomares, L. Vazquez, P. Herrasti, Effect of the low magnetic field on the electrodeposition of $\text{Co}_x\text{Ni}_{100-x}$ alloys, *Materials Characterization*, 105 (2015) 136-43.
- [43] D. Grujicic, B. Pesic, Electrodeposition of copper the nucleation mechanisms, *Electrochimica Acta*, 47 (2002) 2901-2912.
- [44] M. Mouanga, L. Ricq, P. Berçot, Electrodeposition and characterization of zinc-cobalt alloy from chloride bath; influence of coumarin as additive, *Surface & Coatings Technology*, 202 (2008) 1645-1651.

- [45] Y. Li, H. Jiang, D. Wang, H. Ge, Effects of saccharin and cobalt concentration in electrolytic solution on microhardness of nanocrystalline Ni–Co alloys, *Surface & Coatings Technology*, 202 (2008) 4952-4956.
- [46] Z. Moghadam, M.S. Nooshabadi, M. Behpour, Electrochemical performance of aluminium alloy in strong alkaline media by urea and thiourea as inhibitor for aluminium-air batteries, *Journal of Molecular Liquids*, 242 (2017) 971-978.
- [47] J.V. Arenas, M. Pritzker, Steady-state model for anomalous Co–Ni electrodeposition in sulfate solutions, *Electrochimica Acta*, 66 (2012) 139-150.
- [48] J. Vilana, M. Lorenzo, E. Gómez, E. Vallés, Electrochemical deposition of CoNi micro/ nanostructures as new materials for electrochemical sensing of glucose, *Materials Letters*, 159 (2015) 154-158.
- [49] V.M. Maksimović, U.Č. Lačnjevac, M.M. Stoiljković, M.G. Pavlović, V.D. Jović, Morphology and composition of Ni–Co electrodeposited powders, *Materials Characterization*, 62 (2011) 1173-1179.
- [50] O. Ergeneman, K.M. Sivaraman, S. Pané, E. Pellicer, A. Teleki, A.M. Hirt, M.D. Baró, B.J. Nelson, Morphology, structure and magnetic properties of cobalt–nickel films obtained from acidic electrolytes containing glycine, *Electrochimica Acta*, 56 (2011) 1399-1408.
- [51] L. Tian, J. Xu, C. Qiang, The electrodeposition behaviors and magnetic properties of Ni–Co films, *Applied Surface Science*, 257 (2011) 4689-4694.
- [52] S.H. Mosavat, M.E. Bahrololoom, M.H. Shariat, Electrodeposition of nanocrystalline Zn-Ni alloy from alkaline glycinate bath containing saccharin as additive, *Applied Surface Science*, 257 (2011) 8311-8316.
- [53] Y.L. Zhu, Y. Kozuma, Y. Katayama, T. Miura, Electrochemical behavior of Ni(II)/Ni in a hydrophobic amide-type room-temperature ionic liquid, *Electrochimica Acta*, 54 (2009) 7502-7506.
- [54] Q.S. Chen, Z.Y. Zhou, G.C. Guo, S.G. Sun, Electrodeposition of nano structured CoNi thin films and their anomalous infrared properties, *Electrochimica Acta*, 113 (2013) 694-705.
- [55] R. Turton, *Katıların Fizigi (2. Baskı)*, Çeviren Prof. Dr. Yahya Kemal Yoğurtçu, İstanbul: Aktif Yayınevi, (2007) 435.
- [56] A. Moskaltsova, M.P. Proenca, S.V. Nedukh, C.T. Sousa, A. Vakula, G.N. Kakazei, S.I. Tarapov, J.P. Araujo, Study of magnetoelastic and magneto crystalline anisotropies in $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$ nanowire arrays, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 374 (2015) 663-668.
- [57] B. Ali, S.M. Tasirin, P. Aminayi, Z. Yaakob, N.T. Ali, W. Noori, Non-supported nickel-based coral sponge-like porous magnetic alloys for catalytic production of syngas and carbon bio-nanofilaments via a biogas decomposition approach, *Nanomaterials*, 8 (12) (2018) 2-28.
- [58] S. Budi, B. Kurniawan, D.M. Mott, S. Maenosono, A.A. Umar, A. Manaf, Comparative trial of saccharin-added electrolyte for improving the structure of an electrodeposited magnetic FeCoNi thin film, *Thin Solid Films*, 642 (2017) 51-57.
- [59] P.Y. Li, J.A. Syed, X.K. Meng, Sol–gel preparation and characterization of NiCo and Ni_3Fe nanoalloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 512 (2012) 47–51.
- [60] S. Yoon, J.Y. Yun, J.H. Lim, B. Yoo, Enhanced electrocatalytic properties of electrodeposited amorphous cobalt-nickel hydroxide nanosheets on nickel foam by the formation of nickel nanocones for the oxygen evolution reaction, *Journal of Alloys and Compounds*, 693 (2017) 964-969.

- [61] H. Guo, N. Youliwasi, L. Zhao, Y. Chai, C. Liu, Carbon-encapsulated nickel-cobalt alloys nanoparticles fabricated via new post-treatment strategy for hydrogen evolution in alkaline media, *Applied Surface Science*, 435 (2018) 237-246.
- [62] B.M. Mundotiya, W. Ullah, K. Kumar, Electrodeposition Approaches to Deposit the Single-Phase Solid Solution of Ag-Ni Alloy, *Electric Power Conversion Online*, First IntechOpen, (2018) 1-16.
- [63] S. Aydoğu, G. Çabuk, M.B. Çoban, The effects of different Ga doping on structural, optical and electrical properties of CdO films, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23 (1) (2019) 140-147.
- [64] A. Kola, X. Geng, E.J. Podlaha, Ag-W electrodeposits with high W content from thiourea-citrate electrolytes, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 761 (2016) 125-130.
- [65] Kh. Saber, C.C. Koch, P.S. Fedkiw, Pulse current electrodeposition of nano crystalline zinc, *Materials Science and Engineering A*, 341 (2003) 174-181.
- [66] D. Jiles, *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*, First edition, Thomson Press (India) Ltd, New Delhi, (1991) 440.
- [67] R. Madhavan, S. Suwas, Evolution of deformation texture and magnetic properties in a nano crystalline nickel-20 wt% cobalt alloy, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 378 (2015) 239-245.
- [68] S. Pane', E. Go'mez, J.G. Amoro's, D. Velasco, E. Valle's, Modulation of the magnetic properties of CoNi coatings by electrodeposition in the presence of a redox cationic surfactant, *Applied Surface Science*, 253 (2006) 2964-2968.
- [69] D.A. Shishkin, A.S. Volegov, N.V. Baranov, Iron for nickel substitution effects on magnetic and magnetocaloric properties of melt-spun $Gd_{75}(Ni_{1-x}Fe_x)_{25}$ alloys, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 498 (2018) 130-133.
- [70] A. Sharma, S. Chhangani, R. Madhavan, S. Suwas, Correlation between crystallographic texture, microstructure and magnetic properties of pulse electrodeposited nano crystalline Nickel-Cobalt alloys, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 434 (2017) 68-77.
- [71] M.C. Esteves, P.T.A. Sumodjo, E.J. Podlaha, Electrodeposition of CoNiMo thin films using glycine as additive: anomalous and induced codeposition, *Electrochimica Acta*, 56 (2011) 9082-9087.
- [72] F.E. Luborsky, Magnetic Properties of Amorphous Alloys, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 7 (1978) 143-149.
- [73] H. Kronmuller, M. Fahnle, M. Domann, H. Grimm, R. Grimm, B. Grocer, Magnetic Properties of Amorphous Ferromagnetic Alloys, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 13 (1979) 53-70.

A New Pre-processing for Assessing Connection Areas for Busbars of Wind Power Plants Using Meteorological, Financial and Electrical Grid Data

Ali ERDUMAN^{1,*} Bahri UZUNOGLU² Ali DURUSU³

¹Hakkari University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 30000, HAKKARI

²Uppsala University, Division of Electricity Centre for Renewable Electric Energy Conversion, 53475121, Uppsala/SWEDEN

³Yildiz Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Department of Electrical Engineering, 34220, Esenler/İSTANBUL

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 10/05/2019

Revision 10/07/2019

Accepted: 18/08/2019

Highlights

- Practical pre-processing approach is proposed.
- Bus connection points in a zone is determined.
- Preliminary working time of the energy planners will be shortened and most economic wind power plant will be chosen.

Keywords

Feasibility Analysis of
Wind Energy
Energy Economics
Electrical Power System

The objective of this study is to provide practical pre-processing approaches for entities that are active in wind farm development that needs to define connection areas of busbars for wind power plants. With the increase in the installed capacity of the renewable energy resources, the determination of the power grid connection points has gained importance. Failure to correctly identify the feasible grid connection points extends the timeline of return of investment of the power plants. Wind power plants, which cannot produce efficiently, can also cause problems (voltage drop, frequency deterioration, flicker, increased costs, etc.) on the electrical energy system.

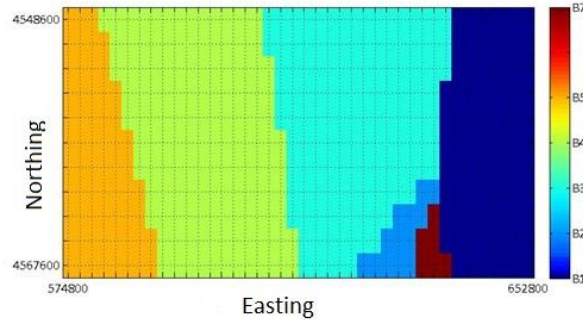


Figure A. Regions of windfarms that will be connected to optimized busbar (Seven busbar numbers are illustrated in legend from B1 to B7)

Purpose: Within the scope of this study, a new methodology has been developed to determine the number of regional wind power plants that can be connected to a grid connection point depending on economic and technical criteria as well as the installed capacity of these power plants.

Theory and Methods: In the developed methodology; the geographical structure of the region, technical characteristics of turbine technologies used in wind power plants, electrical grid criteria and economic connection criteria of wind power plants are taken into consideration. WindPRO, a wind power analysis program, was used in the definition of regional variables. The dataset obtained from the WindPRO program was used in the analysis of installation of wind turbines with different tower heights and different installed powers (50 MW, 100 MW, etc.). Investment costs of turbine technologies and energy transmission system integration costs were taken into consideration in determining bus-based installation costs.

Results: As a result, the possible costs of the wind power plants that can be established for bus connection points in a zone defined on the energy transmission system were determined.

Conclusion: In this study, a new methodology has been developed to determine the number of regional wind power plants that can be connected to a grid connection point depending on economic and technical criteria as well as the installed capacity of these power plants. The possible costs of the wind power plants that can be established for bus connection points in a zone defined on the energy transmission system were determined. Thus, the preliminary working time of the energy planners will be shortened and the most economic regions related to the wind power plant technology will be chosen.



Meteorolojik, Finansal ve Elektrik Şebeke Verileri Kullanılarak Rüzgâr Enerji Santralleri için Bara Bölgelerini Belirlemeye Yönelik Yeni Bir Önışlem Yaklaşımı

Ali ERDUMAN^{1,*} Bahri UZUNOGLU² Ali DURUSU³

¹Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 30000, HAKKARİ

²Uppsala University, Division of Electricity Centre for Renewable Electric Energy Conversion, 53475121, Uppsala/SWEDEN

³Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34220, Esenler/İSTANBUL

Öz

Bu çalışmanın amacı rüzgâr çiftliği kurulumunda faaliyette bulunan organizasyonların pratik bara bağlantı sahalarının tespitine yönelik yeni bir yaklaşımın oluşturulmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güçleri toplam kurulu güç içinde artmasıyla bağlantı noktalarının belirlenmesi büyük önem kazanmaya başlamıştır. Bağlantı noktaları doğru tespit edilmemesi santrallerin yatırım geri dönüşüm sürelerini uzatmaktadır. Verimli üretim yapamayan rüzgâr santralleri elektrik enerji sistemi üzerinde problemlere de (gerilim düşümü, frekans bozulması, fliker, maliyetlerin artması, vb.) neden olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında bir bölgeye ekonomik ve teknik kriterlere bağlı olarak bağlanabilecek bölgesel rüzgâr santrali sayılarını ve bu santrallerin kurulu güç kapasitesini tespiti etmekte kullanılan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde; bölgenin coğrafi yapısı, rüzgâr santrallerinde kullanılan türbin teknolojilerinin teknik özellikleri, şebeke kriterleri ve rüzgâr santrallerinin ekonomik bağlantı kriterleri dikkate alınmıştır. Bölgesel değişkenlerin tanımlanmasında rüzgâr gücü analiz programlarından olan WindPRO kullanılmıştır. WindPRO programından elde edilen veriler farklı kule yüksekliklerinde ve farklı kurulu güçlerde (50 MW, 100 MW, vb.) rüzgâr türbinleri ile santrallerin kurulumu analizinde kullanılmıştır. Bara bazlı kurulum maliyetinin belirlenmesi için türbin teknolojilerinin yatırım maliyetleri ve enerji iletim sistemi entegrasyon maliyetleri dikkate alınmıştır. Sonuç olarak enerji iletim sistemi üzerinde tanımlanan bir bölgedeki bara bağlantı noktaları için kurulabilecek rüzgâr santrallerinin konumlarına bağlı olası maliyetleri tespit edilmiştir. Böylelikle enerji planlamacılarının rüzgâr santral teknolojilerine bağlı en ekonomik bölgelerin tespit edilmesi sağlanmaktadır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 10/05/2019

Düzeltilme: 10/07/2019

Kabul: 18/08/2019

Anahtar Kelimeler

Rüzgâr Enerjisi Fizibilite

Analizi

Enerji Ekonomisi

Elektrik Güç Sistemleri

Keywords

Feasibility Analysis of

Wind Energy

Energy Economics

Electrical Power System

A New Pre-processing for Assessing Connection Areas for Busbars of Wind Power Plants Using Meteorological, Financial and Electrical Grid Data

Abstract

The objective of this study is to provide practical pre-processing approaches for entities that are active in wind farm development that needs to define connection areas of busbars for wind power plants. With the increase in the installed capacity of the renewable energy resources, the determination of the power grid connection points has gained importance. Failure to correctly identify the feasible grid connection points extends the timeline of return of investment of the power plants. Wind power plants, which cannot produce efficiently, can also cause problems (voltage drop, frequency deterioration, flicker, increased costs, etc.) on the electrical energy system. Within the scope of this study, a new methodology has been developed to determine the number of regional wind power plants that can be connected to a grid connection point depending on economic and technical criteria as well as the installed capacity of these power plants. In the developed methodology; the geographical structure of the region, technical characteristics of turbine technologies used in wind power plants, electrical grid criteria and economic connection criteria of wind power plants are taken into consideration. WindPRO, a wind power analysis program, was used in the definition of regional variables. The dataset obtained from the WindPRO program was used in the analysis of installation of wind turbines with different tower heights and different installed powers (50 MW, 100 MW, etc.). Investment costs of turbine technologies and energy transmission system integration costs were taken into consideration in determining bus-based installation costs. As a result, the possible costs of the wind power plants

that can be established for bus connection points in a zone defined on the energy transmission system were determined. Thus, the preliminary working time of the energy planners will be shortened and the most economic regions related to the wind power plant technology will be chosen.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Rüzgâr Santrallerinin şebekeye optimal bağlanabilirlik oranlarının analiz edilebilmesi için meteorolojik değişkenlerin, ekonomik değişkenlerin ve güç sistemi değişkenlerinin dikkatli bir şekilde incelenmesi büyük önem arz etmektedir.

İletim sistemine bağlanacak rüzgâr türbinin çıkış gücünü etkileyen parametrelerin başında, meteorolojik değişkenler gelmektedir. Sistem üzerinde güç üretiminin değişmesi, yük akışının düzensiz olmasına sebep olabilmektedir. Bu amaçla Türkiye’de yapılan en kapsamlı çalışma Rüzgârdan Üretilen Elektriksel Güç İçin İzleme ve Tahmin Sistemi Geliştirilmesi Projesi’dir [1]. Yapılan bu proje kapsamında, Türkiye de rüzgâr kaynağından büyük ölçekli elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştirilebilmesi ve rüzgâr santrallerinin elektrik sistemine entegrasyonu için gerekli önlemlerin saptanması amaçlanmış ve hayata geçirilmiştir.

Türkçü tarafından yapılan çalışma ile Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin, mevcut verilerdeki yetersizlik nedeniyle bugüne kadar güvenilir bir şekilde hesaplanmadığı tespit edilmiş ve buna karşın Türkiye’nin rüzgâr enerjisi bakımından zengin yöreleri bulunan bir ülke olduğu vurgulanmıştır [2]. Bu çalışmada nitelikli analizlerin yapılmasının gerektiği kesin bir dille ifade edilmiştir. Bunu takip edilen sonraki çalışmalarda da birçok çalışma yapılmıştır [3,4]. Bölgesel rüzgâr kapasitesinin hesabında; yüzey pürüzlülük oranı, yükselti ve nemin etkileri bilinmektedir ve sonuç olarak rüzgâr kapasitesinin bu değişkenlere bağlı olarak büyük oranda değiştiği gözlemlenmiştir ve Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonu parametrelerinin doğru analizi de önemlidir [5-7].

Bölgesel rüzgâr enerjisi bir nokta için o noktada verilen ölçüm verisinden analiz edilebilir, fakat geniş bölgelerde hesaplamaları yapabilmek için modelleme ihtiyacı vardır ve ticari yazılımlar kullanılmaktadır. Bilimsel ve ticari çalışmalar için kullanılan başlıca yazılımlar; WindPRO, WAsP, WindSim, Windographer vb. olarak sıralanabilir. Ölçülen rüzgâr verilerinin değerlendirilmesi ve farklı noktalarda üretilen enerjinin tahmin edilmesi amacıyla endüstri standardı olarak Risoe-DTU tarafından geliştirilen Wasp Programı yaygın şekilde kullanılmaktadır [8].

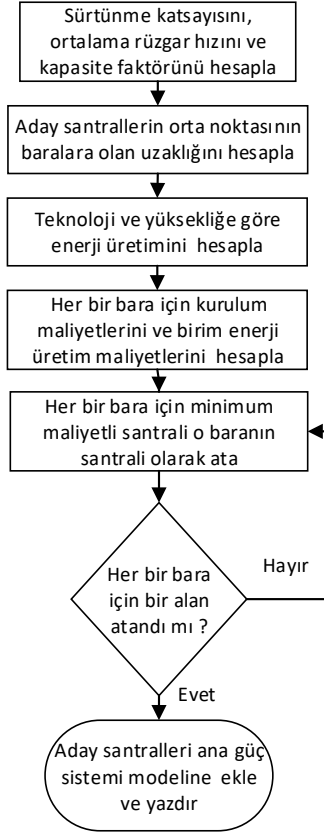
Rüzgâr enerjisinin doğru değerlendirilmesi için bir diğer önemli parametrede rüzgâr santrallerinde kullanılan türbin tipleridir. Bu teknolojiler arasında günümüzde en yaygın kullanılanlar; Sabit mıknatıslı senkron generatör (SMSG) ve çift beslemeli asenkron generatör (ÇBAG)’dır [9]. Her bir teknolojinin kendine özel avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bölge için en iyi rüzgâr türbini teknolojisi seçiminin yapılabilmesi amacıyla üretim teknolojisi, üretim maliyetleri ve şebeke bağlantısındaki etkileri birlikte dikkate alınmalıdır. Fingersh vd. tarafından yapılan çalışmada nominal gücü, yüksekliği ve teknolojisi bilinen bir türbin için yaklaşık ağırlık hesabı, parçaların ağırlıklarının fonksiyonu olarak ortaya konulmuştur [10,11].

Rüzgâr türbinlerinin teknik kısıtlarının yanında bir de kurulum ve üretim maliyeti kısıtları da vardır. Bu kısıtlar; rüzgâr santralının kurulacağı alanın arazi fiyatları, iletim hattının kurulum maliyetleri, yükseltici transformatör ve şalt sisteminin maliyeti, teknoloji bazlı kurulum maliyetleri, bölgede bulunan diğer santrallerin üretim maliyetleri olarak sınıflandırılır. Türkiye güç Hatipoğlu tarafından yapılan bir çalışmada, sistemi üzerinde kurulması planlan bir rüzgâr santralının kullanım kapasitesi, yatırım maliyeti ve işletme maliyeti detaylı olarak analiz edilmiştir [12]. Buna göre 50 MW’lık bir santralin yaklaşık kurulum ve işletme maliyetine etki eden parametreler ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan metodoloji ve teknik terminoloji, üçüncü bölümünde bulgular verilirken dördüncü ve son bölümde ise sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. SİSTEM TASARIMI (DESIGN OF THE SYSTEM)

Bir enerji iletim bölgesi içinde kurulabilecek aday rüzgâr santrallerinin belirlenmesinde kullanılan akış diyagramı Şekil 1’de verilmiştir. Buna göre öncelikle santrallerin kurulması düşünülen bölgenin rüzgâr enerji üretim potansiyeli belirlenmiştir. Rüzgâr potansiyeli belirlenen bölgede kullanılacak rüzgâr türbin teknolojileri ve bu teknolojilerin kurulum maliyetleri ve kurulması düşünülen santral gücü tespit edilmiştir. Kurulacak olan santrallerin şebeke bağlantı noktasına olan uzaklıklarına bağlı olarak bağlantı maliyetleri tespit edilerek kurulum maliyetlerine eklenmiştir. Elde edilen bağlantı konfigürasyonlarına göre kurulum maliyetleri tespit edilerek her bir santralin belirlenen bağlantı noktası için birim kurulum ve üretim maliyetleri tespit edilmiştir.



Şekil 1. Bağlantı bölgelerini belirlemeye yönelik yeni önışlem yaklaşımı

Yeni önışlem yaklaşımını mevcut çalışmalardan ayıran özelliği; bölgenin rüzgâr potansiyeli, bölgenin coğrafi özellikleri (pürüzlülük, yükselti, vb.), rüzgâr türbini teknolojileri, baralara bağlanabilecek santral sayıları, sisteme bağlanabilecek maksimum rüzgâr santral sayısı ve birim üretim maliyetleri bir arada değerlendirilerek bölgenin bara bağlantı konfigürasyonlarına bağlı haritalarının oluşturulmasıdır.

2.1. Bölgesel Rüzgâr Analizi (Regional Wind Analysis)

Bölgenin tamamında kullanılacak uzun dönem rüzgâr veri setinin tespit edilmesi için WindPRO programı kütüphanesindeki online yükselti ve pürüzlülük haritaları kullanılarak bölgenin bütünleştirilmiş haritası elde edilmiştir. Dikkate alınan bölge üzerinde bulunan uzun dönem rüzgâr verileri ile MGM çatalca radar istasyonuna ait 2009-2010 yıllı rüzgâr verilerin GIT modülü kullanılarak saatlik bazda korelasyonları yapılmıştır.

Bölgesel rüzgâr analizinde kısa dönem rüzgâr hızı veri seti olarak 41.341185° Kuzey Enlem ve 28.356778° Doğu Boylamı koordinatlarında ve denizden yüksekliği 369 m olan MGM ye ait çatalca radar istasyonuna ait 10 m yükseklikte 01.01.2009-11.01.2010 tarihleri arasında ölçülmüş saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Uzun dönem veri seti olarak MERRA_basic_E28.002_N41.000 veri seti kullanılmıştır. Elde edilen korelasyon sonuçlarına göre en yüksek uyumu gösteren uzun dönem rüzgâr verisi ile referans rüzgâr verisi lineer regresyon yöntemi kullanılarak bölgesel en yüksek temsil kabiliyeti olan yeni uzun dönemli

rüzgâr verisine dönüştürülmüştür. Bu veri seti tüm bölgenin rüzgâr hızı analizinde kullanılmak üzere baz rüzgâr profili olarak seçilmiştir.

Bölgenin Weibull parametreleri kullanılarak her bir koordinat için ortalama rüzgâr hızı, moment yöntemi Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır [13].

$$V_{ort_{i,j,k}} = wc_{i,j,k} \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{wk_{i,j,k}}\right) \quad 1$$

Burada; $V_{ort_{i,j,k}}$ i . çiftlik alanında j . teknolojisinde ve k yüksekliğinde ortalama rüzgâr hızını, Γ eksik gamma fonksiyonunu, $wc_{i,j,k}$ ise i . çiftlik alanında j . türbin teknolojisinde ve k yüksekliğinde ortalama Weibull ölçü parametresini ve $wk_{i,j,k}$ ise i . çiftlik alanında j . türbin teknolojisinde ve k yüksekliğinde ortalama Weibull şekil parametresini göstermektedir.

Farklı kule yüksekliğine sahip türbinlerin güç çıkışlarının hesaplanabilmesi için göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızlarının ve bölgedeki sürtünme katsayısının hesaplanması gerekmektedir. Çalışma kapsamında farklı yükseklikteki ortalama rüzgâr hızları Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$v_{i,k} = v_{ref} \left(\frac{H_k}{H_{ref}}\right)^{\alpha_{i,k}} \quad 2$$

Burada; H_{ref} referans yüksekliği, H_k k . çalışma yüksekliğini, $v_{i,k}$ i . çiftlik alanında k yüksekliğinde rüzgâr hızını, v_{ref} referans yükseklikteki rüzgâr hızını ve $\alpha_{i,k}$ i . çiftlik alanında k yüksekliğinde sürtünme katsayısını ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında, farklı çözünürlükler değerleri için tüm çalışma bölgesinin, 70 m baz alınarak 74,5 m ile 110 m aralığında farklı yüksekliklerde sürtünme katsayıları ve ortalama rüzgâr hızları elde edilmiştir. Buna bağlı olarak farklı yükseklikte hesaplanan rüzgâr hızlarının ortalama değeri 70 m deki yükseklik baz ortalama hızına göre hesaplanmıştır. Böylece alan içerisindeki tüm noktaların aynı rüzgâr hızı katsayısı ile çarpılmasına olanak sağlayan zamandan bağımsız rüzgâr serileri elde edilebilmektedir.

Referans rüzgâr hızları, WindPRO yardımıyla hesaplanan her bir koordinatın ortalama rüzgâr hızı ile çarpılarak her nokta için dikey rüzgâr profili elde edilmiştir. Referans rüzgâr hızı kullanılarak ortalama rüzgâr hızlarına bağlı her bir koordinat için türetilmiş rüzgâr hızlarının hesaplanması amacıyla ise Eşitlik 3'te verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$v_{h_{i,k}} = \frac{v_{ort_{i,k}}}{v_{ort_{ref}}} \times v_{ref} \quad 3$$

Burada; v_{ref} referans rüzgâr hız vektörünü ve $v_{h_{i,k}}$ i koordinatı için rüzgâr hız vektörünü göstermektedir.

2.2. Farklı Türbin Tiplerine Bağlı Kapasite Faktörlerinin Tespit Edilmesi (Determination of Capacity Factors Related to Different Turbine Types)

Noktasal kapasite faktörlerinin hesaplanması amacıyla farklı teknolojilere sahip rüzgâr türbinlerine ait rüzgâr hızı-güç eğrileri, eğri uydurma yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Eğri uydurma yönteminde 8. mertebeden Gauss eğri uydurma modeli kullanılmıştır [14]. Koordinat sistemleri için oluşturulan rüzgâr verileri ile rüzgâr türbinlerine ilişkin hız-güç fonksiyonları kullanılarak saatlik üretilen enerji miktarının hesaplanmasında Eşitlik 4 kullanılmıştır.

$$E_{b_{i,j,k,t}} = P_{i,j,k} \times t(1 \text{ saat}) \quad 4$$

Elde edilen brüt enerji değerlerinden enerji iletim sisteminde meydana gelen kayıplar ve türbinlerin çiftlik üzerindeki etkileşimleri sonucu meydana gelen kayıp değerleri düşülerek net enerji değeri Eşitlik 5'e göre hesaplanmıştır. Hesaplama enerji iletim kayıpları toplam üretimin % 1'i, türbinlerin çiftlik üzerindeki etkileşimleri sonucu meydana gelen kayıp değerleri ise toplam brüt üretimin % 2'si olduğu varsayılmıştır [15].

$$E_{n_{i,j,k,t}} = E_{b_{i,j,k,t}} \times (1 - (P_{kayıp} + C_{kayıp})) \quad 5$$

Burada; $E_{n_{i,j,k,t}}$ i . rüzgâr çiftlik bölgesi içinde j teknolojisinde k yüksekliğinde üretilen net enerji değeri (MWh/yıl), $P_{kayıp}$ enerji iletim hattı kayıp oranı ve $C_{kayıp}$ çiftlik konfigürasyonundan dolayı oluşan kayıp oranı olarak tanımlanmaktadır.

Çalışma periyodu içerisinde üretilen toplam net rüzgâr enerjisi Eşitlik 6'da verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$E_{top_{i,j,k}} = \sum_{t=1}^N E_{n_{i,j,k,t}} \quad 6$$

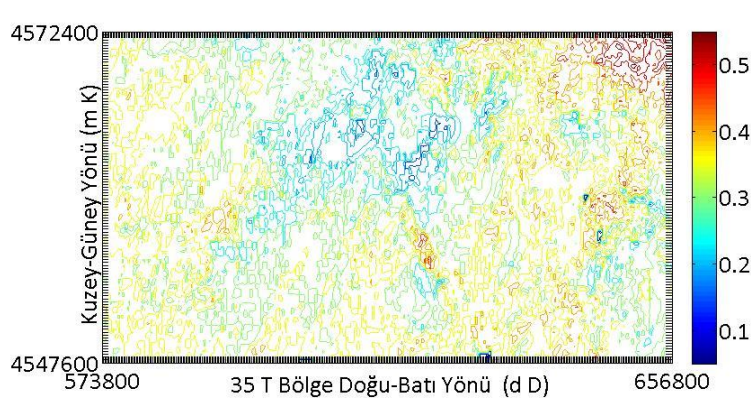
Burada; $E_{top_{i,j,k}}$ i . koordinattaki çiftlik için j . rüzgâr generatör teknoloji ve k yüksekliğinde üretilen toplam enerji değeri (kWh)'dir.

Çalışma periyodu içerisinde üretilen toplam enerjinin seçilen türbin modelinin nominal gücünün toplam çalışma süresiyle çarpılması sonucunun da elde edilen değere bölünmesi ile her bir koordinatın kapasite faktörü Eşitlik 7'den elde edilmiştir. Çalışma periyodu bir yıl (8760 saat) olarak alınmıştır.

$$KF_{i,j,k} = \frac{E_{top_{i,j,k}}}{pm_j \times N} \quad 7$$

Burada; pm_j j . rüzgâr generatör teknolojisinin nominal güç değeri (kW), N çalışma periyodu (h) ve $KF_{i,j,k}$ i . koordinattaki çiftlik için j . rüzgâr generatör teknoloji ve k yüksekliğinde hesaplanan kapasite faktörü olarak ifade edilmektedir.

Evrensel Enlem Merkatörü'ne göre 35T bölgesi üzerinde bulunan 573800-656800 dD Doğu ile 4547600-4572400 mK kuzey koordinat aralığı içinde 200mx200m çözünürlükte ve 100m yükseklikteki kapasite faktörü dağılım örneği Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. GE 2,85 MW rüzgâr türbinine ait kapasite faktörü haritası

2.3. Rüzgâr Çiftliklerinin Büyüklüklerine Göre Çalışma Alanlarının ve Matris Sayılarının Belirlenmesi (Determination of Working Areas and Matrix Number According to the Size of Wind Farms)

Kapasite faktörlerinin belirlenmesi işleminin ardından kurulması düşünülen çiftlik büyüklüklerinin hesaplanması için her bir rüzgâr türbininin 3Dx7D değerinde birim alana ihtiyacı olduğu varsayımı dikkate alınmıştır. Kurulması düşünülen bir rüzgâr çiftliği için ihtiyaç duyduğu toplam kurulum alanı baz çiftlik gücü (50 MW veya 100 MW gibi) ile rüzgâr türbininin nominal gücünün değer birim alan ile çarpılmasıyla Eşitlik 8'de verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$CA = BA \times \frac{wfp}{pm_j} \quad 8$$

Burada; CA baz rüzgâr çiftliği kurulumu için gerekli alan (m^2), BA bir rüzgâr türbini için gerekli alan ($3D \times 7D$) (m^2), wfp hedeflenen nominal çiftlik gücü ve pm_j j. rüzgâr generatör teknolojisinin nominal güç değeri (MW) olarak ifade edilmektedir.

Çalışılan bölgenin başlangıç ve bitiş enlem ve boylam değerlerinin farkları kullanılarak çalışma bölgesinin Doğu-Batı yönü (X) ve Kuzey Güney (Y) yönü eksen yönünde olan uzunlukları Eşitlik 9'a göre hesaplanabilmektedir. Test bölgesindeki iki koordinat arasındaki mesafe (çözünürlük) Eşitlik 10'da verilen eşitliği kullanılarak tespit edilmektedir.

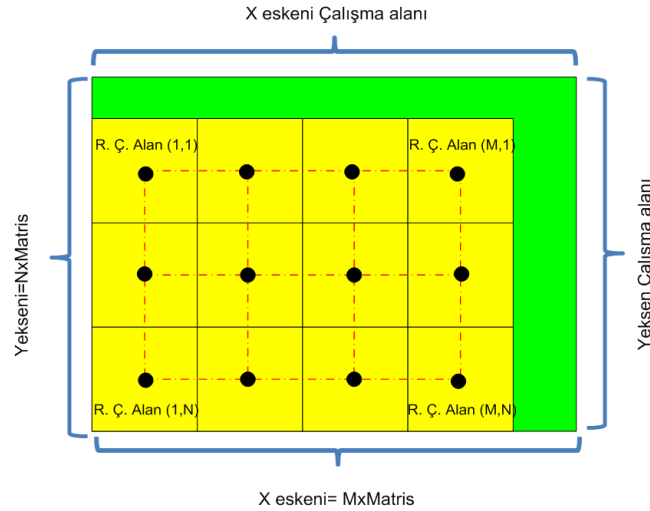
$$TA = (X_{\text{son}} - X_1) \times (Y_{\text{son}} - Y_1) \quad 9$$

$$C = (X_2 - X_1) \quad 10$$

Burada; X Doğu-Batı yönü koordinatlarını ve Y Kuzey Güney yönü koordinatları, TA çalışma alanını (m^2) ve C iki koordinat arasındaki kalan mesafeyi (çözünürlük) (m) göstermektedir. Bir çiftliğin ihtiyaç duyduğu toplam kurulum alanının bir kenar uzunluğu Eşitlik 11'de verilen eşitlik kullanılarak elde edilmektedir.

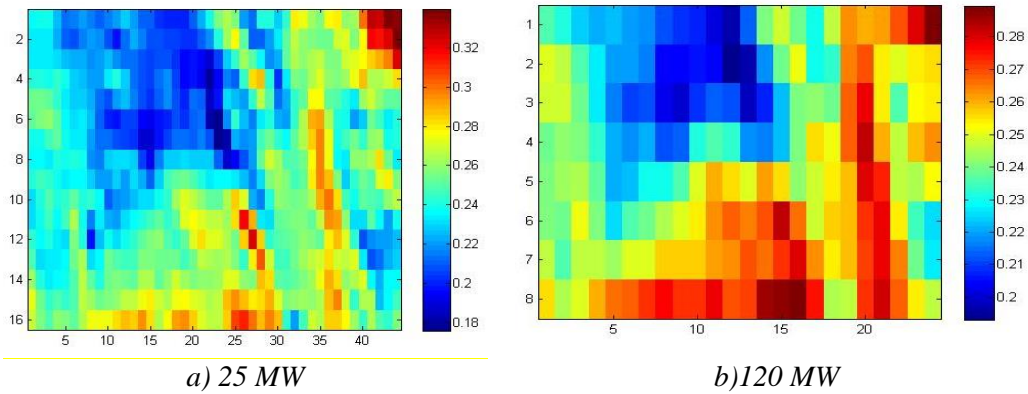
$$M_i = \sqrt{CA} \quad 11$$

Bu ifade de; Şekil 3'te görüleceği gibi M_i bir çiftliğin kare matris olması durumunda X ve Y ekseninde ihtiyaç duyulan iki komşu çiftliğin merkezi arasındaki mesafeyi (m) ifade etmektedir. Elde edilen çiftlik kurulum sayılarının tam sayı olmaması durumunda matris boyutunun en yakın bir üst tamsayıya yuvarlanarak kurulabilecek çiftlik sayısı ve kullanılacak alan yeniden revize edilmektedir. Bu şekilde nihai çalışma alanı tespit edilmiştir. Çiftlik kurulumu dışında kalan alanlar buradaki çalışmalarda dikkate alınmamıştır. Şekil 3'te sarı bölge her bir çiftlik alanını gösterirken yeşil bölge hesaplamalarda kullanılmayacak alanı, X eksen çalışma alanının doğu batı yönündeki uzunluğunu ve Y eksen ise kuzey güney yönündeki uzunluğunu göstermektedir. Bundan sonraki çalışmalarda sarı ile taranmış bölgeler analize dâhil edilmiş olup, bu bölgede X yönünde M adet Y yönünde ise N adet toplamda $M \times N$ adet potansiyel çiftlik olacağı dikkate alınmıştır.



Şekil 3. Rüzgâr çiftlikleri için bölgesel matris düzeni

Matris boyutunun tespit edilmesi ile her bir alanın içinde kalan rüzgâr türbinlerinin kapasite faktörleri toplanmış ve toplam alan içindeki eleman sayısına bölünerek her bir çiftliğin ortalama kapasite faktörü bulunmuştur. 70 m yükseklik ve 200 m x 200 m çözünürlükte elde edilen bölgesel verilerin farklı rüzgâr çiftliği güçleri için hesaplanan kapasite faktörlerinin dağılımı Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'ten görüldüğü gibi Nominal çiftlik gücü sayısı arttıkça kurulabilecek çiftlik sayısı da azalmaktadır. 25 MW nominal kurulu gücü için 16x40 bir çiftlik alanı oluşmaktayken 120 MW Kurulu güç için 8x20'lik çiftlik alanı oluşmaktadır.



Şekil 4. 25 MW ve 120 MW Nominal çiftlik güçlerine göre kapasite faktörü dağılımı (Renk Skalası kapasite faktörünü göstermektedir)

2.4. Maliyet Hesabı (Cost Calculation)

Rüzgâr santrallerin ekonomik analizi kurulum maliyetleri ve işletme maliyetleri olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır. Kurulum maliyetleri; rüzgâr santrallerinin teknolojilerine bağlı imalat maliyetleri, çiftlik içi kurulum maliyetleri ve şebeke entegrasyon maliyetlerinden oluşmaktayken, işletme maliyetleri ise personel giderleri, sigortalama, bakım ve onarım maliyetlerinden meydana gelir.

Maliyet hesaplamaları doğrudan türbin teknolojilerine bağlı olarak yapılmaktadır. Çalışma kapsamında hazırlanan yöntem ile herhangi bir türbin teknolojisinin ekonomik analizinin değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Bu hedefle aynı büyüklükteki çiftlik alanları için SIEMENS SWT-3.0-101 rüzgâr türbininin 74,5 m, 89,5 m ve 94,0 m kule yükseklikleri ile GE-2.85-100 rüzgâr türbininin 75 m, 85 m ve 98,3 m kule yüksekliklerinde ekonomik karşılaştırmaları yapılmıştır. Şebeke ve rüzgâr çiftliğinin ortak bağlantı noktası (OBN) arasındaki enerji nakil hattı (ENH) ve yüksek gerilim elemanlarının maliyet kalemleri [12] numaraları referansta belirtilen maliyet parametrelerine göre Eşitlik 12 kullanılarak tanımlanmıştır.

$$lh_{l,i} = \sqrt{(X_{ort_i} - X_{bra_k})^2 + (Y_{ort_i} - Y_{bra_k})^2} \quad 12$$

Burada; $lh_{l,i}$ i . rüzgâr çiftliği bölgesinin orta noktasının k . baraya olan uzaklığı (m), X_{ort_i} i . rüzgâr çiftliği bölgesinin orta noktasının x doğrultusundaki koordinatı, Y_{ort_i} i . rüzgâr çiftliği bölgesinin orta noktasının Y doğrultusundaki koordinatı, X_{bra_k} k . baranın X doğrultusundaki koordinatı, Y_{bra_k} k . baranın Y doğrultusundaki koordinatı, i çiftlik indeksi ($1 \dots nf$) ve k bara indeksi ($1 \dots ns$) olarak tanımlanmaktadır.

2.4.1. Test Bölgesi için Yıllık İndirgenmiş Maliyet Hesabı (Annual Reduced Cost Calculation for Test Zone)

Bu bölümde rüzgâr çiftliğinin kurulumu için yapılan toplam maliyetler elde edilmiştir. Elde edilen kurulum maliyeti, kullanılarak yıllık indirgenmiş maliyet haline dönüştürülmektedir [16]. Buna göre uzun dönem kredi faiz değeri % 3,27 olarak hesaplanmıştır [17]. Gerçekleştirilen çalışmada yatırım süresi ise türbinin işletme ömrü olarak kabul edilen 25 yıl olarak kabul edilmiştir.

2.5. Güç Sistemi ve Sistem Değişkenlerinin Tanımlanması (Defining Power System and System Variables)

Güç sistemi analizinde ulusal şebekenin bir bütün olarak analiz edilmesi oldukça zordur. Bu sebeple çalışmadan doğrudan etkilenecek bölgenin seçilmesi ve seçilen bölgeye ilişkin analizlerin yapılması gerçekleştirilen analizlerin anlaşılabilirliğini artıracak gibi hesaplama zamanını da düşürecektir. Bu çalışmada Türkiye Ulusal Elektrik Enerjisi sistemine bağlı birinci iletim sistemde bulunan İkitelli (B1), Büyükçekmece (B2), Çatalca (B3), Silivri (B4), Trakya Elektrik (B5), BOTAŞ (B6) ve Akçansa (B7) baralarını içine alan güç sistemi bölümü çalışma alanı olarak seçilmiştir. Ele alınan bölgenin modellenmesi amacıyla; gerekli olan iletim hatlarının baralar arasındaki uzunlukları, İletim hatlarına ilişkin elektriksel parametreler, transformatörlerin nominal güçleri, generatörlerin maksimum ve minimum üretim değerleri

kullanılmıştır [18]. Çalışma esnasında yüklerin sürekli değişkenlik arz edeceği ihmal edilerek 2012 yılının yaz mevsiminde maksimum tüketimin olduğu 27.07.2012 günü saat 14:30'da gerçekleşen puant üretim ve yükler sabit kabul edilmiştir [19].

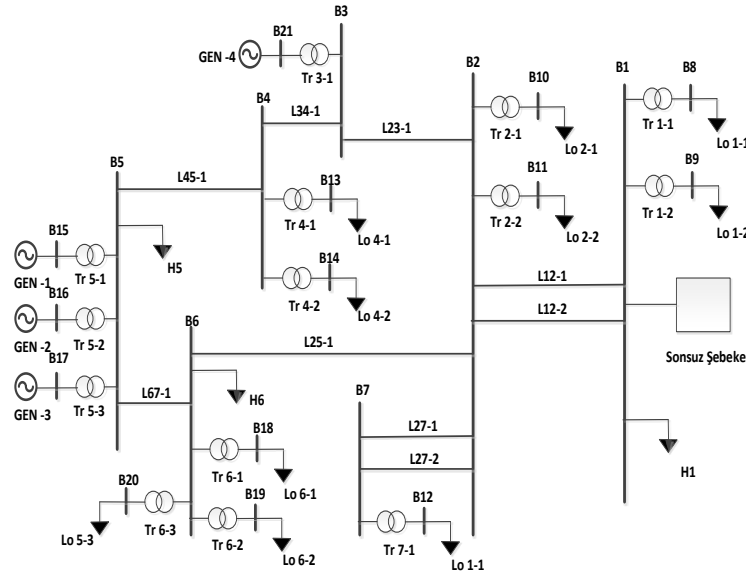
2.5.1. Test Güç Sistemi (Test Power System)

Yedi baralı sistem üzerinde 3 adet konvansiyonel elektrik enerjisi üretim santrali B5 barası üzerinden, bir adet rüzgâr santrali ise B3 barası üzerinden sisteme bağlanmıştır. Ulusal şebeke ile bağlantının yapıldığı B1 barası ise salınım barası olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında Tablo 1'de gösterilen iki farklı rüzgâr santrali üreticisine ait model ve bu modellerin kurulabilir kule yüksekliklerinde çalışma durumları ayrı ayrı analiz edilmiştir [20]. Bölge 440 adet potansiyel rüzgâr çiftlik alanı 2 farklı teknoloji ve her teknolojinin 3 farklı yükseklik için değerlendirilmiş olup toplamda aday rüzgâr santrali sayısı 2460 adet olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. İki farklı rüzgâr santrali üreticisine ait türbinlerin teknik özellikleri

Marka	Teknoloji	Nominal Güç (MW)	Kule Yüksekliği (m)	Rotor Çapı (m)	Nominal Devir (dev/dk)
Siemens SWT	SMSG	3	74,5-89,5-94	101	16
GE	ÇBAG	2,75	75 -85- 98,3	100	14,8

Şekil 5'te tanımlanan güç sistemi bileşenleri; yükler, generatörler, iletim hatları ve transformatörlere ilişkin bilgiler [20] içinde verilmiştir.



Şekil 5. Birinci iletim hattına bağlı yedi baralı sistemin tek hat şeması

2.5.2. Havza Tespiti (Basin Determination)

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında her rüzgâr santrali bölgesinin bağlanacağı baranın tespiti için en düşük birim enerji maliyeti baz alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonucu en düşük üretim maliyetini veren baraya ait santral bölgesi Eşitlik 13 ile hesaplanmıştır. Böylece tüm bölgelere en düşük üretim maliyetine göre bir baraya tanımlanarak baraların bölgeleri belirlenmiştir.

$$SBM_{i,j,k} = \min\{BM_{i,j,k,l}\}_{l=1}^{ns} \quad 13$$

Burada; $SBM_{i,j,k}$ seçilen en düşük maliyet barası vektörünü, $BM_{i,j,k,l}$ i . bölgede j . teknolojinin, k . kule yüksekliğinde ve l . barasında birim enerji üretim maliyetini ve ns sistemde bağlanabilir bara sayısının

toplamı göstermektedir. $SBM_{i,j,k}$ vektörü içerisinde; bağlantı noktasının koordinat bilgilerini, iletim hattının baraya olan uzaklığını, toplam yatırım değerini, indirgenmiş yatırım değerini ve birim enerji üretim değerini barındırmaktadır.

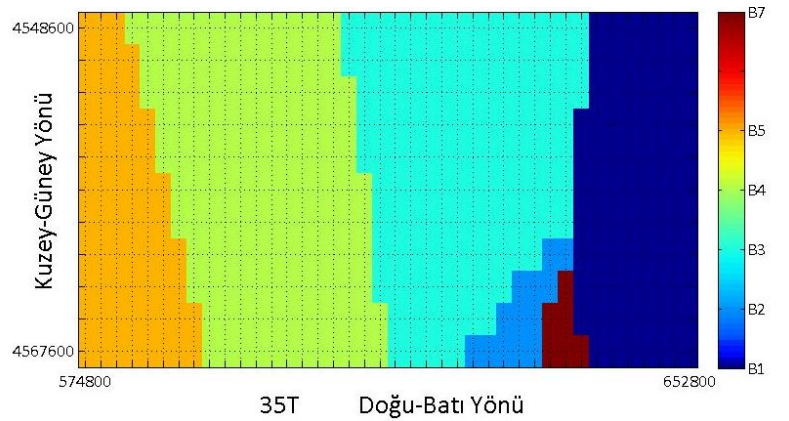
3. BULGULAR (RESULTS)

200 m x 200 m çözünürlükte 70 m yükseklikte yapılan hesaplamalarda 440 adet rüzgâr bölgesi bulunmuş ve bulunan her bir bölge Tablo 2’de verildiği gibi enerji üretim maliyeti, indirgenmiş yıllık enerji maliyeti, birim enerji maliyetlerine göre atandıkları bölgeler hesaplanmıştır.

Tablo 2. Yatırım analizi için varsayılan başlangıç değerleri

Bara	Lh_i (m)	$M_{i,j,k,l}$ (M€)	$OCW_{i,j,k,l}$ (M€)	$BM_{i,j,k,l}$ (€/kWh)
B1	11,82	42,86	3,072	0,022293
B2	12,26	42,91	3,075	0,022312
B3	57,73	47,45	3,344	0,024265
B4	35,35	45,22	3,211	0,023304
B5	11,87	42,87	3,073	0,022296
B6	58,10	47,49	3,346	0,02428
B7	17,94	43,48	3,108	0,022556

Tablo 2’de 638800 X Koordinat 4550600 Y Koordinatı orta noktasına sahip bölgedeki potansiyel rüzgâr santralının en düşük birim enerji maliyeti 0,022293 €/kWh olarak hesaplanmış ve bu koordinattaki aday rüzgâr çiftliği B1 barasına atanmıştır. Her rüzgâr santrali bölgesinin bir baraya atanması ile çalışma bölgesi kendi içinde bara havzalarına dönüştürülmüştür. Bara havzalarının dağılımı Şekil 6’da verilmiştir. Çalışma bölgesi içinde bulunan bara bölgeleri farklı renklerle ifade edilmektedir.



Şekil 6. 70 m yükseklik ve 200 m x 200 m çözünürlükte birim enerji maliyetine göre bara bölgelerine ayrılmış havzalar

Havza sınırları içerisinde her bir bara bölgesinin belirlenmesi sonucunda bölgedeki potansiyel santrallerin kapasite faktörleri dikkate alınarak kurulabilecek rüzgâr santrallerinin enerji üretim değerleri hesaplanabilmektedir. Çalışma kapsamında 200 m x 200 m çözünürlükte ve 70 m yükseklikte hazırlanmış birim enerji üretim değerine göre elde edilen sayısal değerlerin toplam sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.

Koordinatlar arasında yapılan analizde 440 adet rüzgâr çiftliği bölgesi hesaplanmıştır. Buna göre elde edilen çiftlikler her bir bölgeye göre farklı olarak dağılmış en çok çiftlik 141 adet ile Silivri barasında en düşük bağlantının ise B6 barasında olduğu hesaplanmıştır. Tablo 3’ten görülebileceği gibi B6 barasında bağlantı olmamasının sebebi; B5 barasının B6 barasına yakın olması ve B5 barasının çalışma bölgesine yakın olması sebebi ile iletim maliyetlerinin B6 barasına göre daha düşük çıkmasıdır.

Tablo 3'ten görüldüğü gibi B3 bölgesinde alan bazında 6650 MW rüzgâr gücü potansiyeli olduğu fakat bölgeye bağlanabilir 133 adet rüzgâr santrali göz önünde alındığında 50 MW'lık santrallerin kapasite faktörleri ile çarpılması sonucunda bölgenin kullanılabilir potansiyelin 1791,32 MW değerine düştüğü sonucuna ulaşılmıştır. Rüzgâr potansiyelinin yüksek olmasına rağmen kapasite faktörleri dikkate alındığında bölgenin kullanılabilir rüzgâr gücünde büyük düşüşlerin olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Test bölgesinde 50 MW'lık rüzgâr çiftlikleri kurulması durumundaki bara bazındaki çiftlik dağılımları

Çiftlik Bilgisi	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Toplam rüzgâr çiftliği sayısı (Adet)	84	13	133	141	63	0	6
Toplam Potansiyel Güç (MW)	4200	650	6650	7050	3150	0	300
Hesaplanan KF	0,31	0,30	0,27	0,27	0,30	0	0,31
KF Bağlı Güç (MW)	1284,64	196,76	1791,32	1889,11	943,7	0	94,241

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bölgesel veriler, ölçülmüş rüzgâr verileri, uzun dönem hesaplanmış rüzgâr verileri ve kurulum ve işletme maliyet bileşenleri kullanılarak rüzgâr enerji santralleri için bara bölgelerini belirlemeye yönelik yeni bir önışlem yaklaşımı geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada farklı yükseklikte farklı teknolojilerin değerlendirilmesi sağlanmış olup bir bölge veya ülkenin geneli için kullanılacak rüzgâr santral modeli, teknolojisi, hedef yüksekliği ve hedef maliyet aralığı gibi önemli sorulara cevap verilebilmektedir. Enerji iletim sisteminin planlanması yüksek maliyetler gerektiren bir işlem olabilir. Bir bölgenin rüzgâr potansiyeli değerlendirilmesinde güç sistemi bileşenleri teknik ve ekonomik açıdan dikkate alınmadan analizler yapılması ülkenin hedef planlamalarında önemli hatalar yapılmasına sebep olmaktadır. Çalışma kapsamında bölgesel rüzgâr verilerinin güç sistemi bileşenleriyle birlikte değerlendirilmesi sonucunda bölgenin bağlanabilir rüzgâr potansiyelinin tespitinde sonuçların daha pratik hızlı etüt için bulunmasına ve uzun dönem planlamaların daha doğru yapılmasına yeni seçenekler sunmaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma [20] no'lu referansta verilen tezden üretilmiştir. Çalışmada referans alınan tez TÜBİTAK 2214 doktora sırası bilim insanı destekleme bursu kapsamında B.14.2.TBT.0.06.01-214-6041 sayılı bursu ve Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2012-04-02-DOP04 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi, Türkiye'de Rüzgardan Üretilen Elektriksel Güç İçin İzleme ve Tahmin Sistemi Geliştirilmesi Projesi <http://www.ritm.gov.tr/root/index.php>. Erişim Tarihi Temmuz, 9, 2019.
- [2] Türkçü, Sİ. (2006). Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Enterekte Sistemlere Entegrasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Jowder FAL. Wind Power Analysis and Site Matching of Wind Turbine Generators in Kingdom of Bahrain, Applied Energy, 86:4(538-545), (2009).
- [4] Ahmed AS. Analysis of Electrical Power Form the Wind Farm Sitting on the Nile River of Aswan, Egypt, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15:3(1637-1645), (2011).
- [5] Firtın E., Güler Ö. and Akdağ SA. Investigation of Wind Shear Coefficients and Their Effect on Electrical Energy Generation, Applied Energy, 88:11(4097-4105), (2011).

- [6] Seguro JV and Lambert TW. Modern Estimation of the Parameters of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Analysis, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 85:1(75-84), (2000).
- [7] Bulut YM and Açıklık E. Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanmasında Parametre Tahmin Yöntemlerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 1:2(49-54), (2013).
- [8] Mortensen N.G., Landberg L., Troen I., Rathmann O. and Lundtang PE. Wind Atlas Analysis and Application Program (Wasp) Vol. 3: Utility Programs. Risø National Laboratory, Danka Services International A/S, Denmark, (2001).
- [9] Ackermann, T. (2005). *Wind Power in Power Systems* (First Edition). Sweden: John Wiley&Sons Ltd.
- [10] Fingersh, L.J., Hand, M.M. and Laxson, A.S., *Wind Turbine Design Cost and Scaling Model (NREL/TP-500-40566): National Renewable Energy Laboratory (NREL) Teknik Raporu* <https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/40566.pdf>. Erişim Tarihi Temmuz, 9, 2019.
- [11] Kekezoglu B., Erduman A., Durusu, A., Nakir, İ. and Tanriöven, M., (2011). Reliability Assessment of Wind Energy System Considering Turbine Dimensions, Set2011. İstanbul: 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies, İstanbul.
- [12] Hatipoğlu, A. (2010). Rüzgâr Santrallerinde Rüzgâr Karakteristiği ve Saha Topografisine Göre Türbin Seçimi ve Yerleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Wen J., Zheng Y. and Donghan, F. A Review on Reliability Assessment for Wind Power, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13:9(2485-2494), (2009).
- [14] Nielsen, P., Villadsen, J., Kobberup, J., Thørgersen, M., Sørensen, M., Sørensen, T., Albinus, L. and Chun, S., *Windpro 2.5 User Guide*, EMD International A/S http://www.emd.dk/files/windpro/manuals/for_print/MANUAL_2.7.pdf. Erişim Tarihi Temmuz, 9, 2019.
- [15] Bhatt MS., Energy efficiency improvement of electrical transmission distribution networks, *Journal of Scientific & Industrial Research*, 62:(473-490), (2003).
- [16] Sathyajith, M. (2006). *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics* (First Edition), New York: Springer Science & Business Media.
- [17] Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, Euro Üzerinden Açılan Mevduata Bankalarca Filen Uygulanan Azami Yıllık Faiz Oranları, <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Faiz+Istatistikleri/Kamu+Banka+Mevduat+Azami+Faiz/>. Erişim Tarihi Temmuz, 9, 2019.
- [18] TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı Etüd ve Raporlama Daire Başkanlığı, Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların Trafoların ve Generatörlerin Elektriki Karakteristikleri, Sa-2004/1, Ankara, (2004).
- [19] TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı Etüd ve Raporlama Daire Başkanlığı Sistem İşletme Etütleri Müdürlüğü, 2012 Puant (Yaz) Yük Şartlarında Yük Akışı, Üç Faz ve Faz Toprak Kısa Devre Etüdü, Se-2012/3, Ankara, (2012).
- [20] Erduman, A. (2015). Ulusal Enerji Şebekesine Bağlanabilecek Optimum Rüzgâr Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



The Effect of Deep Cryogenic Processing and Tempering Heat Treatment of AISI H13 Tool Steel on Microstructure, Hardness and Impact Energy

Melika ÖZER^{1,*}

¹ Gazi University Faculty of Technology, Department of Metallurgy and Materials Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the effects of conventional quenching, deep cryogenic process and tempering treatment on microstructure, hardness and toughness impact energy of AISI H13 steel were investigated. For this purpose, the samples were subjected to conventional quenching heat treatment and deep cryogenic process at -196°C . In order to determine the effects of tempering process, single tempering and double tempering heat treatments were applied to the samples at 560°C for 3 hours.

Article Info:

Received:
07/08/2019

Revision
23/08/2019

Accepted:
29/08/2019

Highlights

- No significant difference in hardness was observed.
- Very close impact energy results were obtained.
- Reduction of impact energy was determined by tempering process.

Keywords

AISI H13
Tool Steel
Cryogenic
Treatment
Heat
Treatment
Tempering

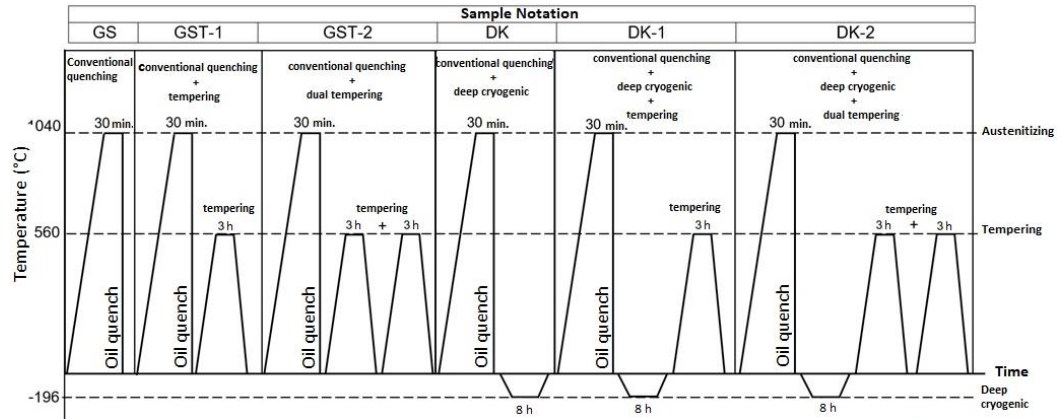


Figure A. Schema of heat treatment processes

Purpose: The modification of the microstructure caused by the deep cryogenic process was aimed to improve the mechanical properties of the AISI H13 material. The effect of heat treatment on microstructure, hardness and impact energy of AISI H13 steel was investigated.

Theory and Methods: Conventional quenching + tempering and deep cryogenic treatment + tempering heat treatments were applied to H13 steel. The deep cryogenic treatment was carried out at a cooling and heating rate of $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$. The heat treatment scheme applied to the samples is shown in Figure A. The effects of heat treatment on microstructure of AISI H13 steel were determined by standard metallographic investigations. Sample microstructures were examined using optical microscope and SEM. Hardness of samples was determined as macro hardness of HRC type. Charpy V notch impact tests were performed according to ASTM E23 standard and impact energies of samples were determined.

Results: The microstructure of GS and DK samples consisted of martensite laths, residual austenite and carbide particles. The volume ratio of residual austenite present in the microstructure of DK samples was found to be less than that of GS sample. With single tempering process, residual austenite volume ratio of GS and DK samples decreased and more homogeneous and fine particle distribution was achieved. As a result of the second tempering process, the carbide particles became coarse and the volume ratio decreased as a result.

Conclusion: No significant difference was observed in the hardness of GS and DK samples. The hardness of the GS sample was 53.1 HRC, while the hardness of the DK sample was 53.31 HRC. Single and double tempering processes applied to GS and DK samples caused a slight decrease in the hardness values of the samples. GS and DK samples gave very close impact energy results. The impact energy of DK samples is about 0.5 J more. As a result of tempering process, impact energy of GS and DK samples decreased. After the second tempering process, there is some improvement in impact energy of GS and DK samples.

GU J Sci, Part C, 7(3): 688-699 (2019)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

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

AISI H13 Takım Çeliğine Uygulanan Derin Kriyojenik İşlem ve Temperleme Isıl İşleminin Mikroyapı, Sertlik ve Darbe Enerjisine Etkisi

Melika ÖZER^{1,*}¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Bu çalışmada geleneksel su verme ve derin kriyojenik işlemlerin ve temperleme işleminin AISI H13 çeliğinin mikroyapısına, sertliğine ve tokluk darbe enerjisine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla numunelere geleneksel su verme ısıl işlemi ve -196 °C sıcaklıkta derin kriyojenik işlem uygulanmıştır. Temperleme işleminin etkilerini belirleyebilmek için numunelere 560 °C sıcaklıkta 3 saat süreyle tek temperleme ve çift temperleme ısıl işlemleri uygulanmıştır. Numunelerin mikroyapıları incelenmiş, sertlik ve darbe enerjilerindeki değişim belirlenmiştir. Numunelerin mikroyapılarının martenzit, kalıntı östenit ve karbür partiküllerinden oluştuğu gözlenmiştir. Derin kriyojenik işlem ile kalıntı östenit hacim oranının azaldığı ve ince ikincil karbür partiküllerinin oluştuğu belirlenmiştir. Geleneksel su verme ve derin kriyojenik işlem uygulanan numunelerde benzer sertlik ve darbe enerjisi değerleri elde edilmiştir. Temperleme ısıl işlemine bağlı olarak sertlik değerlerinde ve darbe enerjisi değerlerinde azalma gözlenmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 07/08/2019
Düzeltilme: 23/08/2019
Kabul: 29/08/2019

Anahtar Kelimeler

AISI H13
Takım Çeliği
Kriyojenik İşlem
Isıl İşlem
Temperleme

Keywords

AISI H13
Tool Steel
Cryogenic Treatment
Heat Treatment
Tempering

The Effect of Deep Cryogenic Processing and Tempering Heat Treatment of AISI H13 Tool Steel on Microstructure, Hardness and Impact Energy

Abstract

In this study, the effects of conventional quenching, deep cryogenic process and tempering treatment on microstructure, hardness and toughness impact energy of AISI H13 steel were investigated. For this purpose, the samples were subjected to conventional quenching heat treatment and deep cryogenic process at -196 °C. In order to determine the effects of tempering process, single tempering and double tempering heat treatments were applied to the samples at 560 °C for 3 hours. The microstructures of the samples were examined and the changes in hardness and impact energies were determined. The microstructures of the samples consisted of martensite, residual austenite and carbide particles. It was determined that the volume fraction of residual austenite decreased and secondary carbide particles were formed by deep cryogenic treatment. Similar hardness and impact energy values were obtained in the samples where conventional quenching and deep cryogenic treatment were applied. Hardness values and impact energy values were decreased due to tempering heat treatment.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kalıpların çalışma ömürleri kalıp maliyetlerini belirleyen önemli bir faktördür. Kalıp çalışma ömrünü ise sertlik, tokluk ve aşınma dayanımı gibi malzemenin mekanik özellikleri belirler. Bu özellikler ise uygulanan ısıl işlemler ile iyileştirilebilir. Dolayısıyla malzeme seçimi ve ısıl işlem kalıp çalışma ömrünü belirleyen önemli iki parametredir [1-4].

Popüler ve kolay temin edilebilen H13 çeliği de dahil olmak üzere, H-serisi sıcak iş takım çelikleri sıcak dövme ve döküm uygulamaları için tercih edilen kalıp malzemeleridir. Yüksek sıcaklıklarda yüksek sertlik, tokluk, aşınma direnci, deformasyona karşı direnç, mekanik ve termal direnç özelliklerinden dolayı su verilmiş ve temperlenmiş H13 takım çeliği sıcak dövme kalıplarında yaygın bir kullanıma sahiptir [1,5-7].

H13 çeliğine su verme-temperleme ısıl işlemi geleneksel olarak uygulanmaktadır. Geleneksel su verme-temperleme ısıl işlemi sonrasında H13 çeliğinin mikroyapısı temperlenmiş martenzit (M'), kalıntı östenit (γ') ve karbür partiküllerinden oluşmaktadır [7]. Kalıntı östenit kararsız bir fazdır. Servis şartlarında

martensite dönüşebilmektedir [6,8]. Kalıntı östenitin martensite dönüşmesi mikro çatlaklara ve boyutsal kararsızlığa sebep olabilmektedir [7,9-11]. Mikroyapıdaki kalıntı östenitin miktarı, karbürlerin boyut ve dağılımı uygulamanın gerekliliklerine göre farklı ve/veya tamamlayıcı ısı işlemler ile optimize edilebilir. Geleneksel ısı işlemler sonrasında mikroyapıda oluşan kalıntı östenitin neden olduğu bu olumsuzlukları en aza indirmek için son yıllarda, kriyojenik işlemde faydalanılmaktadır. [12-14]. Kriyojenik işlemdeki amaç, sıfır altı sıcaklıklara inilerek martenzitik dönüşümün devamını sağlamak ve kalıntı östenit miktarını mümkün olduğunca azaltmaktır. Ayrıca çok ince karbür partiküllerinin martenzit matris üzerinde homojen olarak çökmesini sağlamaktır [7,15,16].

Kriyojenik işlem bir kez yapılan kalıcı bir işlemdir. Genellikle geleneksel su verme ısı işleminin ardından fakat temperleme işleminden önce yapılır. Kriyojenik işlem soğuk veya sıfır altı işlem olarak tanımlanır. Yaklaşık $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındaki sıcaklığa parçanın soğutulması, belirli süre beklenilmesi ve oda sıcaklığına ısıtılması işlemidir. Kriyojenik işlem iki katogoriye ayrılmıştır: $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında yapılan işlem soğuk işlem (veya sıfır altı işlem), $-125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında yapılan işlem derin kriyojenik işlem olarak adlandırılır [17]. Derin kriyojenik işlem genellikle yaklaşık -196°C sıcaklıkta uygulanır [18,19]. Östenitleme sonrası oda sıcaklığına soğutma ile malzeme mikroyapısında oluşan kalıntı östenit, sıfır altı işlemler ile martenzite dönüşür [20-24]. Temperleme ısı işlemiyle de çok ince ve homojen karbür çökmesi sağlanır. Sonuçta kriyojenik işlemin neden olduğu mikroyapının modifikasyonu ile malzemenin mekanik özellikleri geliştirilir [21-24]. Bu çalışmada H13 çeliğine geleneksel su verme+temperleme ve derin kriyojenik işlem+temperleme ısı işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan ısı işlemlerin AISI H13 çeliğinin mikroyapısı, sertlik ve darbe enerjisi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada deney malzemesi olarak ticari AISI H13 sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. AISI H13 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. AISI H13 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

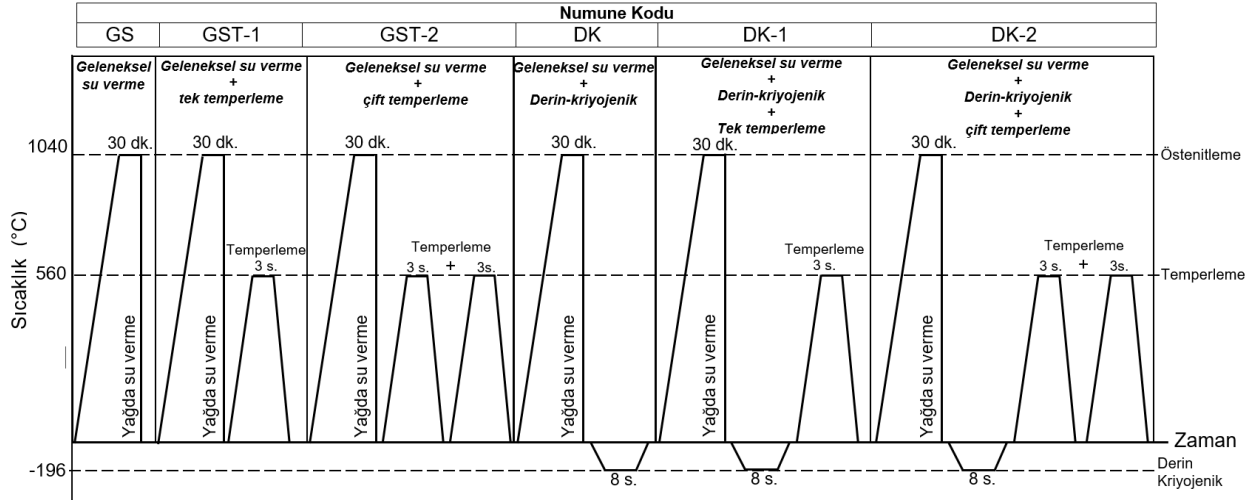
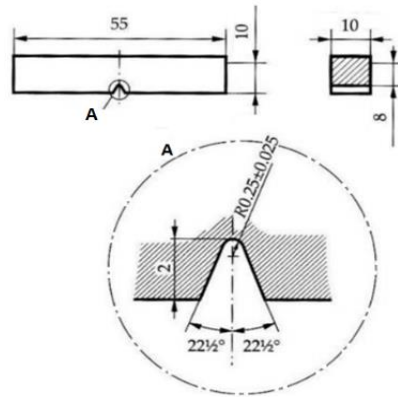
		Kimyasal Kompozisyon (% ağırlık).								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Fe
AISI H13	Nominal	0,37- 0,43	0,90- 1,20	0,30- 0,50	0,025 max.	0,005 max.	4,80- 5,50	1,20- 1,50	0,90- 1,10	
	Ölçülen	0,39	0,97	0,37	0,020	0,001	4,90	1,25	0,94	Kala n

Uygun geometride hazırlanan H13 çeliğine geleneksel su verme+temperleme ve derin kriyojenik işlem+temperleme ısı işlemleri uygulanmıştır. Derin kriyojenik işlem, soğutma sırasında termal hasar oluşumunu engellemek için, $0,5\text{ }^{\circ}\text{C/dk}$ soğutma ve ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Numunelere uygulanacak olan deney planı ve numune kodlaması Tablo 2’de, ısı işlem şeması ise Şekil 1’de verilmiştir.

Yapılan ısı işlemlerin AISI H13 çeliğinin mikroyapısı üzerine etkileri standart metalografik incelemeler ile belirlenmiştir. Isıl işlem sonrası numuneler metalografik metotlara uygun olarak zımparalanmış, parlatılmış ve %2 nital (HNO_3) çözeltisinde dağlanmıştır. Numune mikroyapıları optik mikroskop ve SEM kullanılarak incelenmiştir. Numunelerin sertlikleri Rockwell sertlik ölçme metodu (ASTM E 18-07) ile HRC türünden makro sertlik olarak belirlenmiştir. Şekil 2’de gösterildiği gibi hazırlanan numunelerin Charpy V çentik darbe deneyleri ASTM E23 standardına göre yapılmış ve numunelerin darbe enerjileri belirlenmiştir.

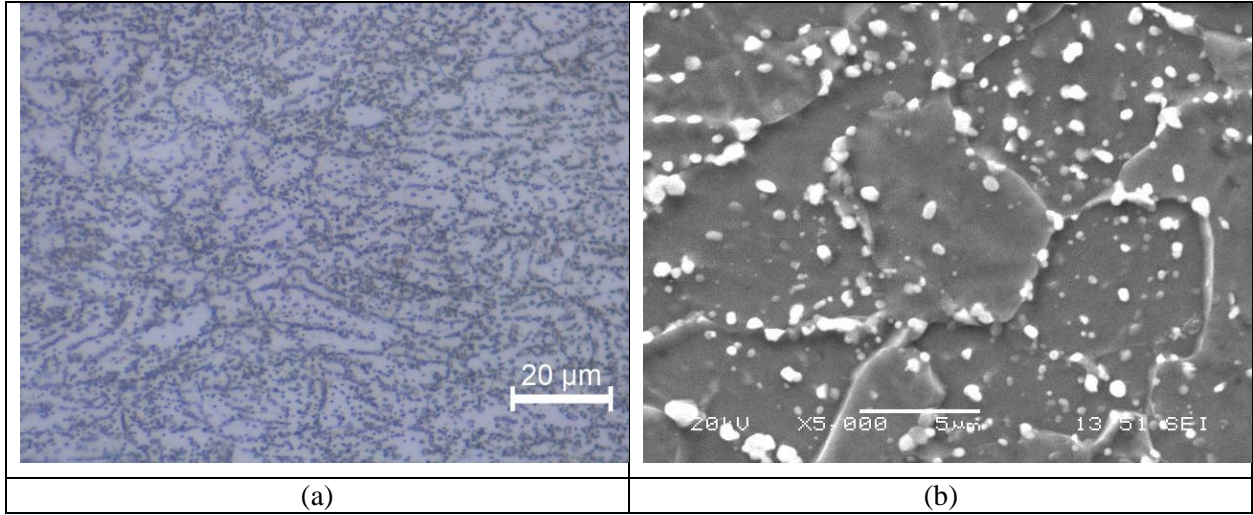
Tablo 2. Numune kodlaması ve deney planı

Numune Kodu	Isıl İşlem	Östenitleme ve Yağda su verme	Derin-Kriyojenik İşlem (Soğuma Hızı 0,5 °C/dk)	Temperleme İşlemi	Temperleme İşlemi
İşlemsiz	---	---	---	---	---
GS	Geleneksel su verme	1040 °C 30 dakika Yağda su verme	---	---	---
GST-1	Geleneksel su verme + tek temperleme	1040 °C 30 dakika Yağda su verme	---	560 °C 3 saat	---
GST-2	Geleneksel su verme + çift temperleme	1040 °C 30 dakika Yağda su verme	---	560 °C 3 saat	560 °C 3 saat
DK	Geleneksel su verme + derin-kriyojenik işlem	1040 °C 30 dakika Yağda su verme	-196°C 8 saat	---	---
DKT-1	Geleneksel su verme + derin-kriyojenik işlem + Tek temperleme	1040 °C 30 dakika Yağda su verme	196°C 8 saat	560 °C 3 saat	---
DKT-2	Geleneksel su verme + derin-kriyojenik işlem + Çift temperleme	1040 °C 30 min. oil quench	-196°C 8 saat	560 °C 3 saat	560 °C 3 saat

**Şekil 1.** Isıl işlem şeması**Şekil 2.** Charpy V çentik darbe deneyi (ASTM E23)

3. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Optik mikroskop ve SEM kullanılarak sırasıyla X1000 ve X5000 büyütmelerde elde edilen AISI H13 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları Şekil 3-5’de verilmiştir.



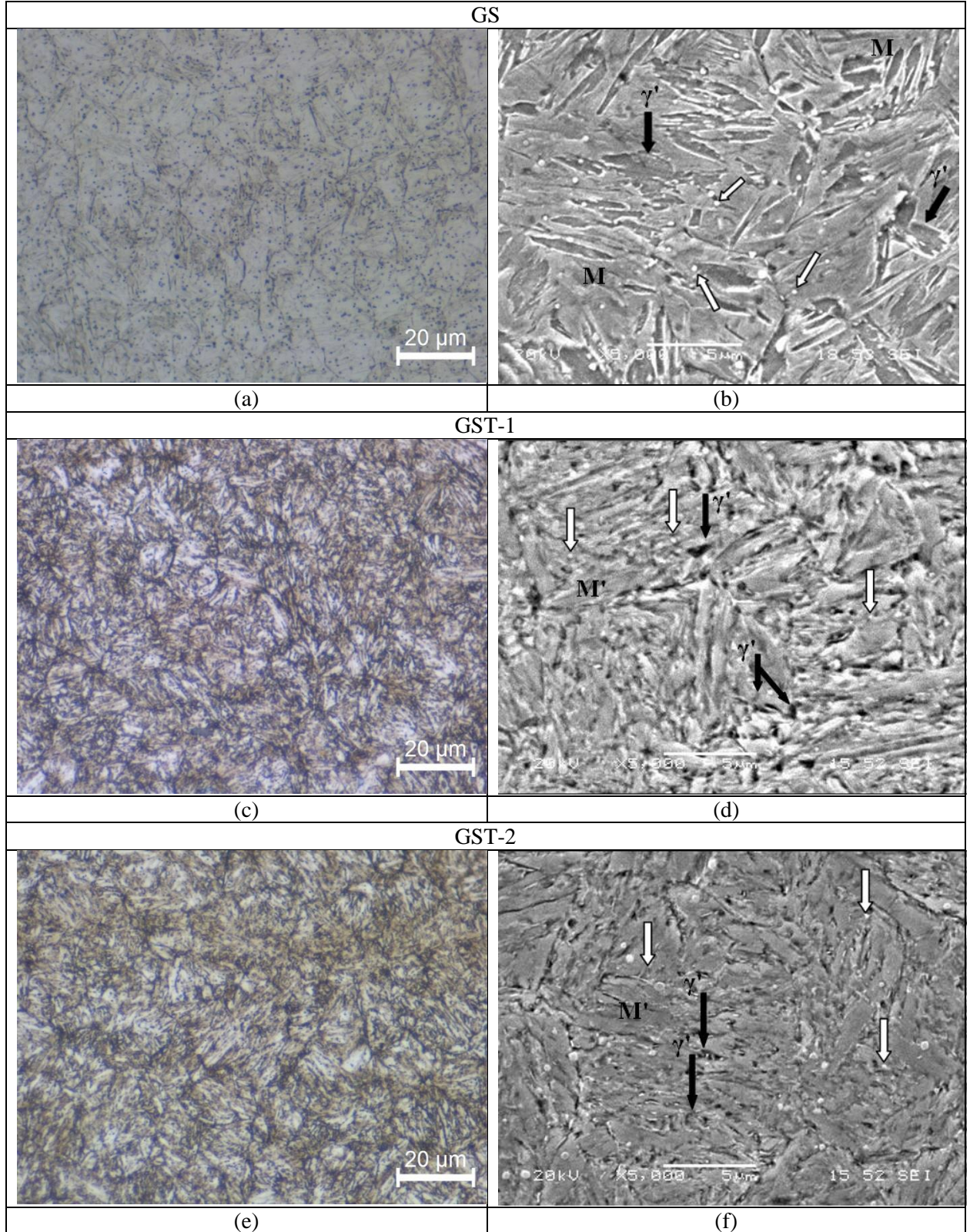
Şekil 3. Isıl işlem uygulanmamış AISI H13 çeliği numunelerin (a) optik mikroskop, (b) SEM görüntüleri

Şekil 3 ısıl işlem görmemiş olan ticari AISI H13 çeliğinin mikroyapı fotoğraflarını göstermektedir. Mikroyapı tipik ferrit matris ve tane içi ve/veya tane sınırlarında çökelen karbür partiküllerinden (optik mikroskop görüntülerinde siyah noktalar, SEM görüntülerinde beyaz parçacıklar) oluşmuştur. Diğer numunelerin mikroyapısı ise (Şekil4 ve 5), beklenildiği gibi ince, küresel ve homojen dağılmış karbür partikülleri (beyaz ok ile gösterilmiştir), kalıntı östenit (siyah ok ile gösterilmiştir), martensit veya temperlenmiş martensitten meydana gelmiştir. Mikroyapıdaki karbür partiküllerinin farklı büyüklüklerde olmasının nedeni, takım çeliklerinde tipik olarak görülen birincil ve ikincil karbürlerin varlığındandır [1].

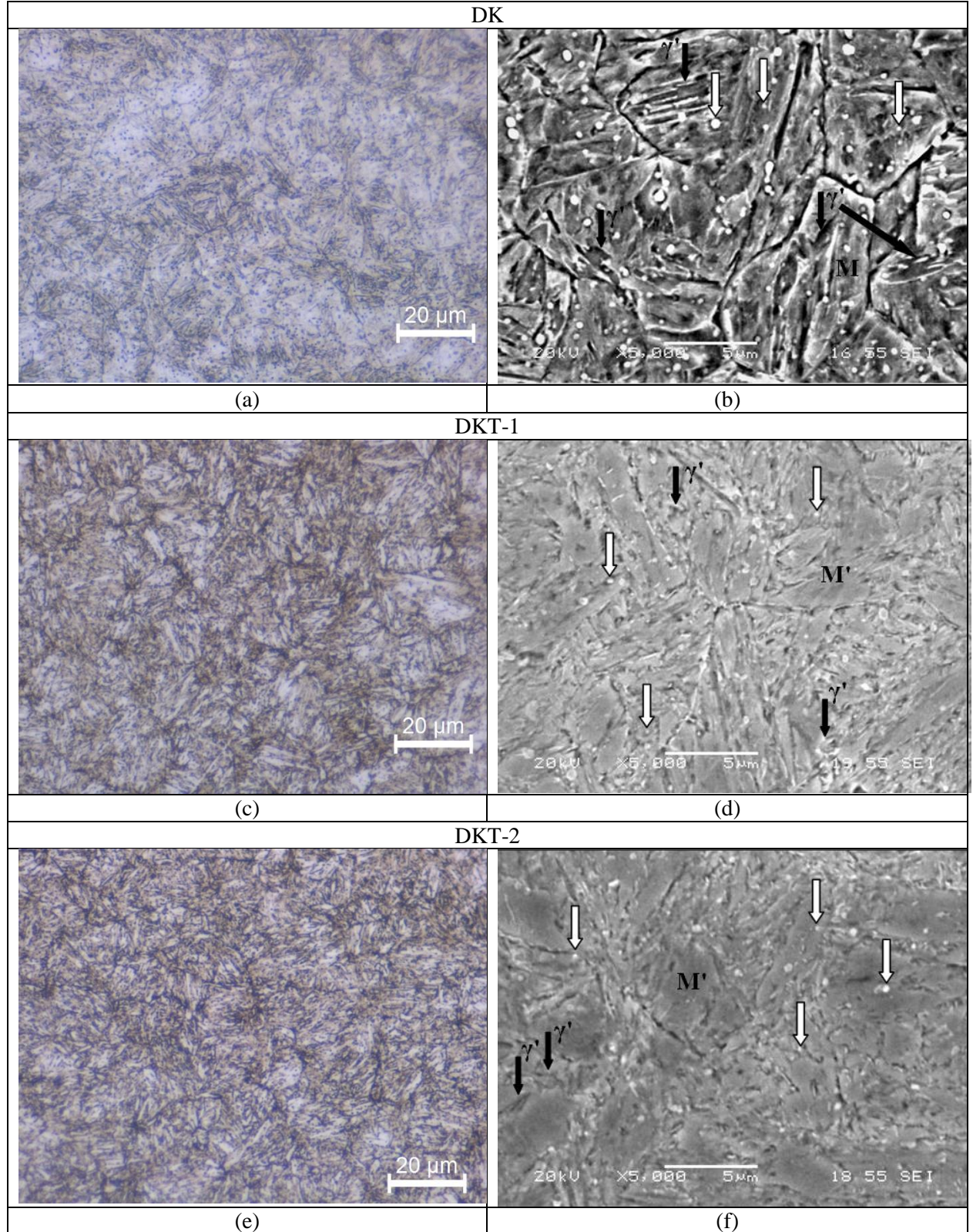
Isıl işlem görmemiş olan ticari AISI H13 numunesinin mikroyapı fotoğraflarında görülen karbür partikülleri (Şekil 3) diğer numunelerdeki partiküllere göre daha kabadır (Şekil 4 ve 5). GS numunelerinin mikroyapısı (Şekil 4) çıta martensit, çıtalar arasında sıkışan kalıntı östenit ve karbür partiküllerinden meydana gelmiştir. Temperleme işlemi ile mikroyapıdaki mevcut martensit fazının temperlenmiş martensite dönüştüğü, aynı zamanda kalıntı östenitin bir hacminin de yine martensite dönüştüğü bilinen bir gerçektir [7,17]. Ayrıca yapılan temperleme işlemi ile daha ince ikincil karbür partikülleri mikroyapıda oluşmuştur [25] (Şekil 4 c-d). Li ve ark. [5] yapmış oldukları çalışmada temperleme işlemi ile ikincil karbür partiküllerinin oluştuğunu ve karbür hacim oranının arttığını belirtmişlerdir. Ancak ikinci temperleme işlemi ile karbür partiküllerinde irileşme gözlemlenmiştir (Şekil 4 e-f).

Derin kriyojenik işlem mikroyapıda var olan kalıntı östenitin bir miktarının daha martenzite dönüşümüne neden olur. Şekil 5’de verilen optik mikroskop ve SEM görüntüleri incelendiğinde DK numunelerinin mikroyapısında var olan kalıntı östenit hacim oranının GS numunesine (Şekil 4) göre daha az olduğu görülebilmektedir. Ayrıca RADICAL Metal 11.1 görüntü analiz programı ile fazların hacim oranları belirlenmiştir (Şekil 6-7). GS numunelerinde kalıntı östenit ve martensit hacim oranları sırasıyla %17,55; %78,96 iken ve DK numunelerinde %7,02; %85,36 olarak tespit edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda temperleme işlem sayısı arttıkça kalıntı östenit miktarının azaldığını belirtilmiştir [1,7,26].

DK numunelerindeki karbür partükellerinin dağılımı incelenecek olursa (Şekil 5 a-b), mikroyapıda iri ve ince partüküllerin varlığı görülecektir. İri ve ince partüküller sırasıyla birincil ve ikincil partüküllerdir. Birincil partüküller geleneksel su verme işlemi olan östenitleme+su verme ısıl işlem çevrimi ardından oluşurken, çok daha ince olan ikincil partüküllerin dağılımının nedeni ise derin kriyojenik işlemdir [7].



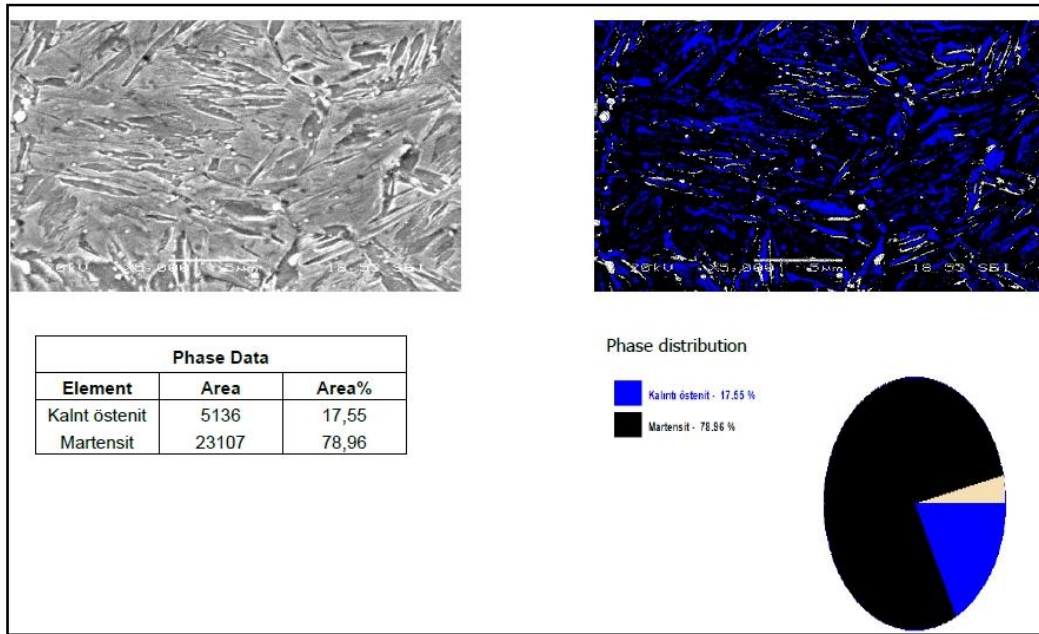
Şekil 4. Geleneksel su verme ve temperleme ısıl işlemleri uygulanmış (GS) numunelerin (a,c,e) optik mikroskop, (b,d,f) SEM görüntüleri



Şekil 5. Derin kriyojenik işlem ve temperleme ısı işlemleri uygulanmış numunelerin (a,c,e) optik mikroskop, (b,d,f) SEM görüntüleri

Tek temperleme işlemi ile DK numunelerinde de kalıntı östenit hacim oranı azalmıştır (Şekil 5 c-d) ve daha homojen ve ince partikül dağılımı sağlanmıştır. İnce partikül dağılımının nedeni östenitin martensite çok düşük sıcaklıklarda dönüşümü ve martensit çıtalarının mikroyapıdaki ince dağılımıdır. Mikroyapıda daha ince martensit çıtalarının varlığı ince karbür partiküllerinin çökmesi için çekirdeklenme bölgelerini arttırmaktadır [7]. Koneshlou ve ark. [7] yapmış oldukları çalışmada derin kriyojenik işlem sonrası

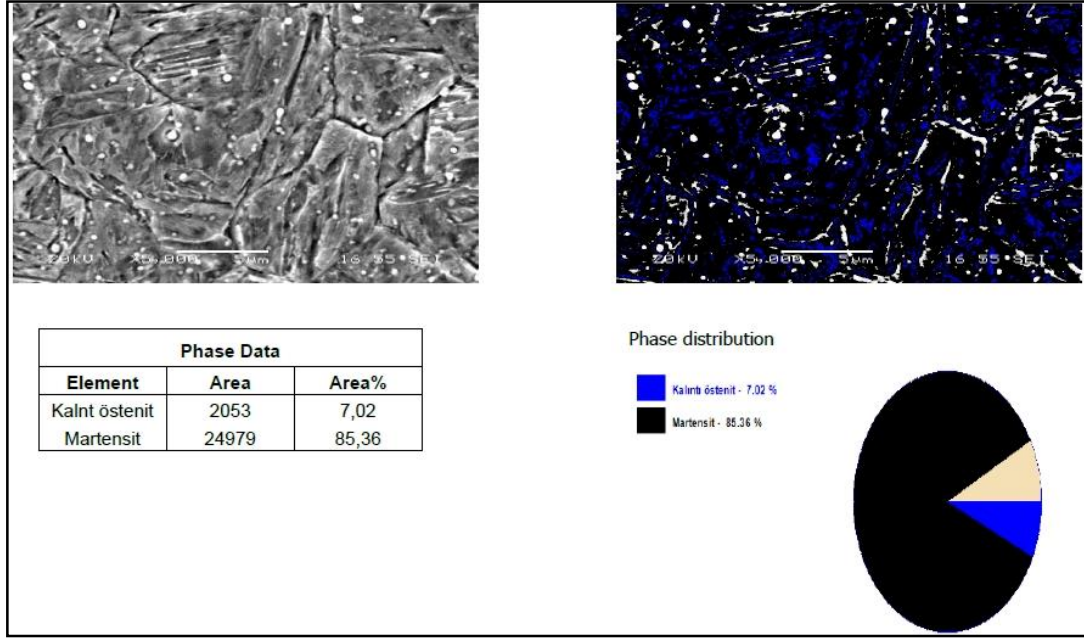
uygulanan temperleme işlemi ile karbür partiküllerinin hacim oranının arttığını, boyutunun ise azaldığını belirtmişlerdir. Temperleme işlemi ile, mevcut kalıntı östenitin martenzite dönüşümü neticesinde, ikincil karbürlerin oluşumunun karbür partiküllerinin hacim oranını arttırdığını vurgulamışlardır. Ayrıca, Sonara ve ark. [26] derin kriyojenik işlemdeki sürekli soğuma ile gerçekleşen bu düşük sıcaklık şartlanmasının gerinim enerjisinde artış ve martensitin kararsızlığı olarak ifade etmişlerdir. Derin kriyojenik işlemde yeterli bir bekleme süresinde karbon ve alaşım elementi atomlarının dislokasyon bölgelerine taşınacağı ve kümeleneyeceğini belirtmişlerdir. Bu bölgelerin derin kriyojenik işlem sonrası ısıtmanın ardından mikroyapıda ikincil karbürlerin çökmesi için çekirdeklenme bölgesi olarak çalışacağını vurgulamışlardır. Perez ve ark. [14] da yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçları vurgulamışlardır. Sonuç olarak, martensit oluşum sıcaklığının çok altına martensitin sürekli soğuması ve yeterli bir süre bu düşük sıcaklığın sürdürülmesi, temperlemede çok sayıda çok ince karbür partiküllerinin oluşumunu teşvik eder [17,19,27]. İkinci temperleme işlemi sonucunda ise karbür partikülleri irileşmiş ve neticesinde hacim oranı azalmıştır (Şekil 5 e-f).



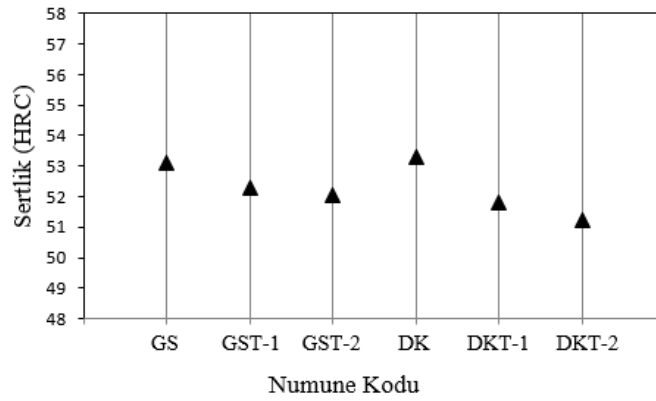
Şekil 6. GS numunesinin faz hacim oranları ve analizi

Tüm deney numunelerinin HRC türünden makro sertlik test sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. GS ve DK işlemleri arasında sertlikte önemli bir fark gözlenmemiştir. GS numunesinin sertlik değeri 53,1 HRC iken, DK numunesinin sertlik değeri 53,31 HRC ölçülmüştür. Yaklaşık 0,2 HRC değeri ile en yüksek sertlik değeri DK numunesinde elde edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda daha fazla kalıntı östenitin martensite dönüşümü DK numunesinde yüksek sertlik değerinin elde edilmesine neden olmuştur [1,7].

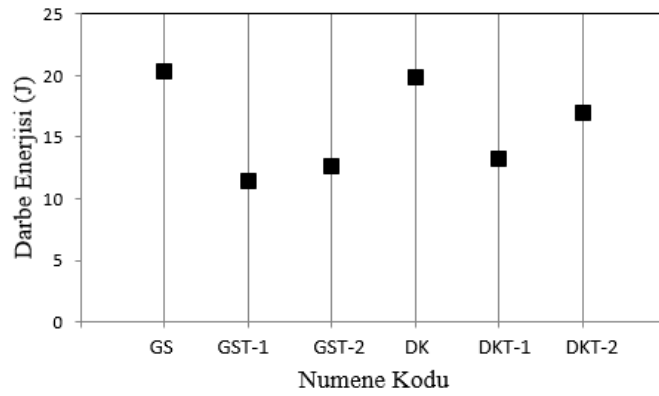
GS ve DK numunelerine uygulanan tek ve çift temper işlemleri numunelerin sertlik değerlerinde azda olsa düşüğe neden olmuştur. Bu düşüş yaklaşık 2 HRC ile sınırlı kalmıştır. Temperleme işlemi ile GS ve DK numunelerinin mikroyapısında bulunan martensit fazının temperlenmiş martensite dönüşmesi ile sertlikte belirgin derecede düşüş beklenebilir. Ancak GS ve DK numunelerinde temperleme işlemleri ile sertlikte meydana gelen çok az düşme, temperleme işlemiyle kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ve kompleks karbürlerin oluşumuna atfedilir [28]. GS numunelerinin temperlenmesi ile meydana gelen sertlikteki düşüş DK numunelerine oranla yaklaşık 1 HRC kadar daha azdır. GS numunelerinin mikroyapısında bulunan kalıntı östenit hacim oranının DK numunelerine göre daha fazla olması neticesinde, temperleme ısıl işlemi ile, GS numunelerinde daha fazla hacim oranında kalıntı östenit martensite dönüşür. Dolayısıyla GS numunelerinde temperleme işlemi ile birlikte mikroyapıda temperlenmiş martensit fazının yanında, kalıntı östenitin martensite dönüşmesiyle, temperlenmemiş sert martensit fazında bulur.



Şekil 7. DK numunesinin faz hacim oranları ve analizi



Şekil 8. Sertlik test sonuçları



Şekil 9. Charpy V çentik darbe deneyi sonuçları

Şekil 9'da numunelere uygulanan Charpy V çentik darbe deneyi sonuçları gösterilmiştir. GS ve DK numuneleri birbirine çok yakın darbe enerjisi sonuçları vermiştir. DK numunelerinin darbe enerjisi yaklaşık 0,5 J daha fazladır. Literatürde kalıp çeliklerinin darbe tokluğunu çeşitli faktörlerin etkileyeceği

belirtmiştir. Martensit tane boyutu en önemli etkenlerdendir. İnce tane boyutuna sahip martensit tanelerini üretmenin tokluğu iyileştirdiği belirtilmiştir [5]. Ancak iyi bilinmektedir ki, martensit tanelerinin büyümesi, su verme işlemi sırasındaki östenit tane boyutuyla sınırlıdır. Darbe tokluğu üzerine önemli etkisi olan ikinci faktör ise mikroyapıda var olan ikincil karbür partikülleridir. Çünkü çatlaklar partiküller etrafında yayılma ve büyüme eğilimindedir. Dolayısıyla partiküllerin boyutu, hacim oranı ve morfolojisi darbe tokluğu üzerine kritik rol oynar [29]. Yapılan bu deneysel çalışmada numuneler aynı sıcaklık ve sürelerde östenitlenerek su verildiği için martensit tanelerinin boyutunda farklılık söz konusu değildir. Bu çalışma için GS numunelerinin ve DK numunelerinin martensit tane boyutlarının darbe tokluğu üzerine etkisi aynıdır. Her iki numune türünde darbe tokluğunun yaklaşık aynı çıkması kalıntı östenit hacim oranı, birincil ve ikincil partiküllerin hacim oranı ve boyutu arasındaki korelasyonla açıklanabilir. Mikroyapıda var olan kalıntı östenit kararsız fakat sünek bir fazdır. Kalıntı östenit hacim oranının GS numunelerinde daha fazla olması GS numunelerinde tokluk darbe enerjisinin daha fazla olacağı şeklinde yorumlanabilir. Diğer taraftan daha fazla kalıntı östenitin martensite dönüşümü sonucunda sert ve kırılğan faz olan martensit fazının hacim oranının DK numunelerinde fazla olması ise bu numunelerde kırılma tokluğunun daha düşük olacağı düşüncesi oluşturabilir. Ancak DK numunelerinde çatlakların yayılmasını yönlendiren ve bloke eden ince ikincil küresel karbür partiküllerinin daha düzgün dağılımı bu numunelerde yüksek martensit hacim oranının olumsuz etkisini elimine etmiştir.

Temperleme ısıl işlemi ile mikroyapıda bulunana mevcut martensit fazı temperlenmiş martensite dönüşmektedir. Aynı zamanda kalıntı östenit fazıda temperleme işlemi ile martensite dönüşerek martensit hacim oranını arttırmaktadır. Temperlenmiş martensit fazının darbe dayanımını iyileştirdiği bilinen bir gerçektir. Ancak kalıntı östenitin neden olduğu sert ve kırılğan yeni martensit fazı darbe dayanımını olumsuz etkiler [30]. DK numunelerinde kalıntı östenit hacim oranı daha az olduğu için temperleme işlemi sonrası oluşan sert ve kırılğan martensit fazının darbe dayanımına olan bu olumsuz etkisi daha azdır. Ayrıca temperleme işlemi ile mikroyapıda oluşan yeni karbür partikülleri ile partikül hacim oranı artmaktadır. Calliari ve ark. [29] yapmış oldukları çalışmada temperleme işlemi ile ikincil partiküllerin hacim oranının gerekenden daha fazla artmasıyla darbe tokluğu enerjisinin önemli derecede düştüğünü belirtmişlerdir. Bu nedenlerden dolayı temperleme işlemi neticesinde GS ve DK numunelerinde darbe tokluğu enerjisi azalmıştır. Yapılan ikinci temperleme işlemi sonrasında GS ve DK numunelerinin darbe tokluğu enerjisinde bir miktar iyileşme söz konusudur. Bu iyileşmenin muhtemel nedeni karbür partiküllerinin büyümesi ve hacim oranının azalmasıdır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Isıl işlem görmemiş olan ticari AISI H13 çeliğinin mikroyapısı tipik ferrit matris ve tane içi ve/veya tane sınırlarında çökelen karbür partiküllerinden oluşmuştur. GS ve DK numunelerinin mikroyapısı martensit çıtalı, çıtalı arasında sıkışan kalıntı östenit ve karbür partiküllerinden meydana gelmiştir. DK numunelerinin mikroyapısında var olan kalıntı östenitin hacim oranının GS numunesine göre daha az olduğu belirlenmiştir.

DK numunelerinde farklı boyutlarda karbür partikülleri tespit edilmiştir. İri ve ince karbür partikülleri sırasıyla birincil ve ikincil partiküllerdir. Birincil partiküller geleneksel su verme işlemi olan östenitleme+su verme ısıl işlem çevrimi ardından oluşurken, çok daha ince olan ikincil partiküllerin dağılımına neden olan işlem çok düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen derin kriyojenik işlemdir.

Tek temperleme işlemi ile GS ve DK numunelerinde kalıntı östenit hacim oranı azalmıştır ve daha homojen ve ince partikül dağılımı sağlanmıştır. İkinci temperleme işlemi sonucunda ise karbür partikülleri irileşmiş ve neticesinde hacim oranı azalmıştır.

GS ve DK numunelerinin sertliklerinde önemli bir fark gözlenmemiştir. GS numunesinin sertlik değeri 53,1 HRC iken, DK numunesinin sertlik değeri 53,31 HRC ölçülmüştür. GS ve DK numunelerine uygulanan tek ve çift temperleme işlemleri numunelerin sertlik değerlerinde azda olsa düşüşe neden olmuştur. Bu düşüş yaklaşık 2 HRC ile sınırlı kalmıştır.

GS ve DK numuneleri birbirine çok yakın darbe enerjisi sonuçları vermiştir. DK numunelerinin darbe enerjisi yaklaşık 0,5 J daha fazladır. Temperleme işlemi neticesinde GS ve DK numunelerinde darbe

enerjisi azalmıştır. Yapılan ikinci temperleme işlemi sonrasında GS ve DK numunelerinin darbe enerjisinde bir miktar iyileşme söz konusudur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Perez M, Belzunce F. J. The effect of deep cryogenic treatments on the mechanical properties of an AISI H13 steel. *Materials Science and Engineering A*, 624 (32-40), (2015).
- [2] Davis J.R. (1995). *Classification and Properties of Tool and Die Steels*, ASM Specialty Handbook - Tool Material., Metals Park Ohio: ASM International, 119-153.
- [3] Shivpuri, R. (2005). *Dies and die materials for hot forging*, ASM Metals Handbook, Vol.14. Metals Park Ohio: ASM International, 47-61.
- [4] Gökmeşe H, Özdemir M. Hardox-500 sac malzemenin şekillendirilebilirlik davranışı üzerine ısıtma işlemi etkisi. *GU J Sci Part: C 4(4)* (343-349), (2016).
- [5] Li J-Y, Chen Y-L, Huo J-H. Mechanism of improvement on strength and toughness of H13 die steel by nitrogen. *Materials Science and Engineering A*, 640 (16-23), (2015).
- [6] Çiçek A, Kara F, Kivak T, Ekici E. Evaluation of machinability of hardened and cryo-treated AISI H13 hot work tool steel with ceramic inserts. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 41 (461-469), (2013).
- [7] Koneshlo M, Asl K.M, Khomamizadeh F. Effect of cryogenic treatment on microstructure, mechanical and wear behaviors of AISI H13 hot work tool steel. *Cryogenics*, 51 (55-61) (2011).
- [8] Baron R.F. Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance. *Cryogenics*, 22 (409-413) (1982).
- [9] Akhbarizadeh A, Shafyei A, Golozar M.A. Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel. *Materials and Design*, 30 (3259-3264) (2009.)
- [10] Molinari A, Pellizzari M, Gialanella S, Straffelini G, Stiasny K.H. Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 118 (350-355) (2001).
- [11] Das D, Dutta A.K, Rayc K.K. Sub-zero treatments of AISI D2 steel: Part I. Microstructure and hardness. *Materials Science and Engineering A*, 527 (2182-2193) (2010).
- [12] Prieto G, Ipina J.E.P, Tuckart W.R. Cryogenic treatments on AISI 420 stainless steel: Microstructure and mechanical properties. *Materials Science and Engineering A*, 605 (236-243) (2014).
- [13] Idayan A, Gnanavelbabu A, Rajkumar K. Influence of Deep Cryogenic Treatment on the Mechanical Properties of AISI 440C Bearing Steel. *Procedia Engineering*, 97 (1683-1691) (2014).
- [14] Perez M, Rodriguez C, Belzunce F.J. The use of cryogenic thermal treatments to increase the fracture toughness of a hot work tool steel used to make forging dies. *Procedia Materials Science*, 3 (604-609) (2014).
- [15] Stratton P.F. Optimising nano-carbide precipitation in tool steels. *Materials Science and Engineering A*, 449-451 (809-812) (2007).
- [16] Vahdat S.E, Nategh S, Mirdamadi S. Microstructure and tensile properties of 45WCrV7 tool steel after deep cryogenic treatment. *Materials Science and Engineering A*, 585 (444-454) (2013).
- [17] Xu N, Cavallaro G.P, Gerson A.R. Synchrotron micro-diffraction analysis of the microstructure of cryogenically treated high performance tool steels prior to and after tempering. *Materials Science and Engineering A*, 527 (6822-6830) (2010).
- [18] Huang J.Y, Zhu Y.T, Liao X.Z, Beyerlein I.J, Bourke M.A, Mitchell T.E. Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel. *Materials Science Engineering A*, 339 (241-244) (2003).

- [19] Zhirafar S, Rezaeian A, Pugh M. Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 186 (298-303) (2007).
- [20] Kızılkaya E, Ovalı İ. AISI 4140 Çeliğine Uygulanan Sığ Kriyojenik İşleminin Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi. *GU J Sci Part: C* 6(1) (137-148), (2018).
- [21] Collins D.N. (1996). Deep cryogenic treatment of tool steels: A review, *Heat Treatment of Metals*, 2 (40-42) (1996).
- [22] Firouzdor V, Nejati E, Khomamizadeh F. Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill. *Journal of Materials Processing Technology*, 206 (467-472) (2008).
- [23] Molinari A, Pellizzari M, Gialanella S, Straffelini G, Stiasny K.H. Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 118 (350-355) (2001).
- [24] Yun D, Xiaoping L, Hongshen X. Deep cryogenic treatment of high-speed steels and its mechanism. *Heat Treatment Metals*, 3 (55-59) (1998).
- [25] Özer M, Davut K, Özer A. Influence of Cryogenic Treatment and Tempering on AISI H13 Hot Work Tool Steel. 19th International Metallurgy & Materials Congress, (856-859) (2018).
- [26] Sonara T, Lomte S, Gogte C. Cryogenic Treatment of Metal - A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5 (25219–25228) (2018).
- [27] Bensely A, Venkatesh S, Lal D. M, Nagarajan G, Rajadurai A, Junik K. Effect of cryogenic treatment on distribution of residual stress in case carburized En 353 steel. *Materials Science and Engineering A*, 479 (229–235) (2008).
- [28] Benedyk J.C. (2013). *High Performance Alloys Database*, Indiana: CINDAS LLC, 5-6.
- [29] Calliari I, Zanesco M, Ramous E. Influence of isothermal aging on secondary phases precipitation and toughness of a duplex stainless steel SAF 2205. *J Mater Sci*, 41 (7643–7649) (2006).
- [30] Senthilkumar D, Rajendran I, Pellizzari M, Siirainen J. Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 211 (396–401) (2011).

An Experimental Investigation of the Effects of Acetone, Tetrahydrofuran and N-heptane Fuel Blends on HCCI Combustion and Engine Performance

 Bilal AYDOĞAN^{1,*} Alper CALAM² Ahmet UYUMAZ³
¹Burdur Mehmet Akif Ersoy University, High Vocational School of Technical Sciences, 15100, BURDUR

²Gazi University, High Vocational School of Technical Sciences, 06760, ANKARA

³Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering and Architectural, 15030, BURDUR

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 29/05/2019

Revision 18/08/2019

Accepted: 29/08/2019

Highlights

- Knocking tendency reduced with acetone and tetrahydrofuran fuel blends.
- In-cylinder pressure and heat release rate reduced with increasing the lambda value
- Operating range of HCCI engine was expanded with the usage of alternative fuel

Keywords

 Homogeneous Charged
 Compression Ignition
 Engine Performance
 Alternative Fuel

In this study, a single cylinder, four-stroke gasoline engine was converted to HCCI engine. DC dynamometer was conducted to the test engine. The temperatures were measured with K-type thermocouple. Kistler model 6221 piezoelectric pressure transducer was used to measure in-cylinder pressure. Pressure data was scaled up by Cussons P4110 combustion analysis device and National Instrument USB 6259 data acquisition card converted the data to digital signals. An algorithm arranged in Matlab was used to process raw cylinder pressure data.

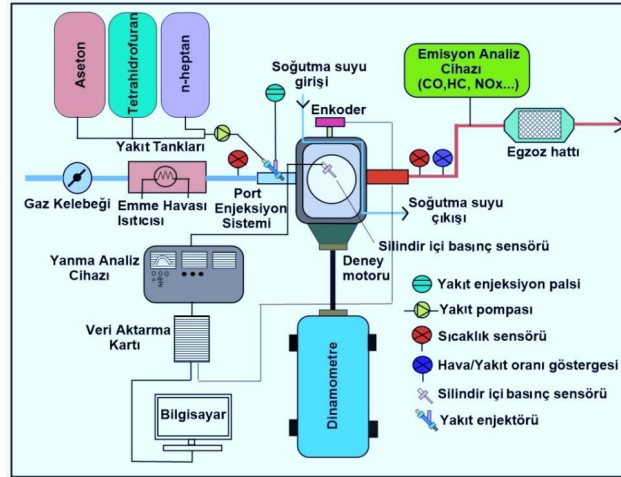


Figure A. The Schematic Diagram of the Experimental Setup

Purpose: In this study, the effects of tetrahydrofuran, acetone and n-heptane fuel blends on HCCI combustion, engine performance, CO and HC emissions were investigated experimentally.

Theory and Methods: The experiments were performed at 1400 rpm and $\lambda=1.9 - 2.74$ at full load. Acetone (20%)/n-heptane (80%) and tetrahydrofuran (20%)/n-heptane (80%) fuel blends were used in the experiments. Combustion characteristics and engine performance of the fuel blends were observed.

Results: The experimental results showed that, knocking tendency reduced with the usage of A20N80. In-cylinder pressure and heat release rate reduced and combustion was delayed for all test fuels at leaner charge mixtures. Operating range of HCCI engine was expanded with the usage of alternative fuel at misfiring and knocking zones.

Conclusion: In this study, the effects of the addition of acetone and tetrahydrofuran into the n-heptane fuel on the combustion and engine performance were investigated. Knocking tendency was reduced with the usage of both acetone and tetrahydrofuran. In-cylinder pressure and heat release rate reduced with increasing the lambda value. Imep values of acetone and tetrahydrofuran fuel blends were higher than n-heptane.

GU J Sci, Part C, 7(3): 700-711 (2019)



Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi
PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ


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

Aseton, Tetrahidrofuran ve N-heptan Yakıt Karışımlarının Homojen Dolgulu Sıkıştırma İle Ateşlemeli Yanmaya (HCCI) ve Motor Performansına Etkileri Üzerine Deneysel Bir Araştırma

Bilal AYDOĞAN^{1,*} Alper CALAM² Ahmet UYUMAZ³¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 15100, BURDUR²Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 06760, ANKARA³Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 15030, BURDUR

Öz

Bu çalışmada tek silindirli, dört zamanlı benzinli bir motor HCCI motora dönüştürülmüştür. HCCI motor 1400 d/d'da, $\lambda=1.9$ ile $\lambda=2.74$ lamda değerleri arasında n-heptan, aseton/n-heptan (A20N80) ve tetrahidrofuran/n-heptan (F20N80) yakıt karışımları ile tam yükte çalıştırılmıştır. Aseton ve tetrahidrofuran yakıt ilavelerinin HCCI yanması ve motor performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Test yakıtları ile yapılan deneylerde yanma karakteristikleri, motor performansı incelenmiş, n-heptan yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Zengin karışım oranlarında ($\lambda=1.9$ ve $\lambda=1.92$) n-heptan ve F20N80 yakıtları ile vuruntu eğilimi görülmüştür. Ancak aseton kullanımı ile vuruntu temayülünün azaldığı daha kararlı HCCI yanmasının elde edildiği görülmüştür. Tüm test yakıtları için karışım fakirleştikçe silindir basıncı ve ısı dağılımı azalmıştır. Aynı zamanda karışım fakirleştikçe yanmanın rötara alındığı, HC emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Sonuçta HCCI yanmasının farklı alternatif yakıt kullanımı ile daha kararlı hale getirilebileceği ve çalışma aralığının vuruntu ve ateşlenememe bölgesinde genişletilebileceği görülmüştür.

Makale Bilgisi

Başvuru: 29/05/2019

Düzeltilme: 18/08/2019

Kabul: 29/08/2019

Anahtar Kelimeler

Homojen Dolgulu
Sıkıştırma ile Ateşlemeli
Yanma
Motor Performansı
Alternatif Yakıt

Keywords

Homogeneous Charged
Compression Ignition
Engine Performance
Alternative Fuel

An Experimental Investigation of the Effects of Acetone, Tetrahydrofuran and N-heptane Fuel Blends on HCCI Combustion and Engine Performance

Abstract

In the current study, a single cylinder, four stroke gasoline engine was converted to HCCI engine. HCCI engine was run at 1400 rpm, between $\lambda=1.9$ and $\lambda=2.74$ lambda values with n-heptane, acetone/n-heptane (A20N80) and tetrahydrofuran/n-heptane (F20N80) fuel blends at full load. The effects of tetrahydrofuran and acetone fuel addition on combustion characteristics and engine performance were researched. Combustion characteristics and engine performance were observed and compared with n-heptane. Knocking was seen with n-heptane and F20N80 with richer mixtures ($\lambda=1.9$ and $\lambda=1.92$). But, knocking tendency reduced with the usage of A20N80 and HCCI engine was stably run. In-cylinder pressure and heat release rate decreased with leaner charge mixture for all test fuels. In addition, combustion was delayed and HC was reduced with leaner charge mixtures. As a result, it was seen that stable HCCI combustion could be achieved with alternative fuel and operating range of HCCI engine can be expanded at misfiring and knocking zones.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Petrol esaslı yakıtlar dünyada ulaştırma sektörü gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte fosil kökenli yakıtların kullanılması ve tüketilmesi bununla birlikte, çevreye ve atmosfere verilen zarar gün geçtikçe artmaktadır [1-3]. Konvansiyonel yanma türlerinde yüksek yüklerde ve zengin karışım oranlarında yanma sonu gaz sıcaklığı artmakta azot oksit oluşumu görülebilmektedir [2-7]. Aynı zamanda yanma odasında heterojen karışım sonucu lokal zengin karışım bölgeleri oluşmakta HC ve is emisyonları açığa çıkmaktadır. Bu noktada araştırmacılar Kontrollü Kendiliğinden Ateşleme (CAI), Reaktif Kontrollü Sıkıştırma ile Ateşleme (RCCI) ve Homojen Dolgulu Sıkıştırma ile Ateşleme gibi düşük sıcaklık yanmasına bağlı yanma modları üzerinde çalışmaktadırlar [2-12]. Düşük sıcaklık yanmasında ateşleme üzerinde harici bir kontrol olmadığından yanma odasının genelinde lokal zengin karışım bölgeleri oluşmadan fakir karışımın tamamının eş zamanlı olarak yanması gerçekleşmektedir. Ancak kendiliğinden tutuşmanın başlayabilmesi için homojen karışımın sıcaklığının kendiliğinden tutuşma sıcaklığına ulaşana kadar artırılması gerekmektedir. Kendiliğinden yanma reaksiyonları sıkıştırma kursu sonundaki termodinamik şartlara göre değişmekte, yanma kimyasal kinetikler tarafından kontrol edilmektedir. Yüksek motor yüklerinde ani ve hızlı basınç artış oranına bağlı olarak vuruntu görülebilmekte, HCCI motorun çalışma aralığı daralmaktadır. Bu noktada yakıtın fiziksel özellikleri yanma seyrini direkt etkilemekte, yanma başlangıcı kontrol edilebilmektedir. Özellikle oktan sayısı yüksek yakıtlar ile yanma fazı kontrol edilerek istenmeyen vuruntu oluşumu önlenmektedir [9-18]. Türkcan ve ark. [19] enjeksiyon parametrelerinin etanol/benzin, metanol/benzin yakıt karışımları ile çalışan HCCI bir motorda etkilerini incelemişlerdir. Alkol/benzin karışımları ile birinci enjeksiyon zamanlaması avansa alındığında maksimum basınç artış oranının arttığını görmüşlerdir. Hasan ve ark. [20] n-heptan ile çalışan HCCI bir motorda motor performans parametrelerini ve yanma karakteristiklerini incelemişlerdir. Motor devri azaltıldığında yanmanın avansa alındığını, yanma süresinin kısaldığını belirtmişlerdir. Uyumaz [21] bütanol/izopropanol ve n-heptan yakıt karışımları (B20,B30,B40, P20, P30,P40) ile çalışan HCCI bir motorda emme havası giriş sıcaklığının etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. Test yakıtları ile emme giriş sıcaklığı arttıkça yanmanın avansa alındığını görmüştür. İzopropanolün bütanole göre vuruntuya daha fazla direnç gösterdiğini belirtmiştir. Çınar ve ark. [22] %20 n-heptan %80 izooktan yakıt karışımı (RON80) ile çalışan HCCI bir motorda emme havası giriş sıcaklığının performans ve yanma özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 70°C emme havası giriş sıcaklığında motor torkunun $\lambda=0.6$ 'da $\lambda=0.7$ 'ye göre %3.1 azaldığını görmüşlerdir. Özgül yakıt tüketimi ve NO_x emisyonlarının 100°C ve 120°C sıcaklıklarda arttığını belirtmişlerdir. Çınar ve ark. [23] başka çalışmada supap kalkma miktarının HCCI yanması ve çalışma aralığı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. HCCI çalışma aralığının düşük supap kalkma miktarına sahip kamlar ile vuruntu ve ateşlenememe bölgelerinde genişletilebileceği görülmüştür. Deney motorunun yüksek emme havası giriş sıcaklıklarında daha fakir karışımlarla HCCI yanma modunda çalıştığını görmüşlerdir. He ve ark. [24] n-bütanolün HCCI motorda yanma ve emisyon karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Motor devri arttığında kendiliğinden tutuşma başlangıcının avansa, yanma süresinin rötara alındığını ifade etmişlerdir. Mack ve ark. [25] HCCI bir motorda bütanol izomer yanmasını geniş hava/yakıt oranı ve emme havası basıncı aralığında incelemişlerdir. N-bütanolün daha kararlı bir yanma sergilediğini görmüşlerdir. Calam ve ark. [26] sıkıştırma oranının HCCI yanması ve performans üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. RON40 test yakıtı ile 12:1 sıkıştırma oranında termik verimi % 38.2 hesaplamışlardır. En geniş çalışma bölgesini 10:1 sıkıştırma oranında RON20 test yakıtı ile elde etmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı tetrahidrofur, aseton ve n-heptan yakıt karışımlarının (F20N80, A20N80, n-heptan) HCCI yanması, motor performansı, CO ve HC emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmaktır. HCCI motora dönüşümü yapılan tek silindir benzinli motor tam yükte, 1400 d/d'da sabit 60°C emme havası giriş sıcaklığında çalıştırılmış, test yakıtlarının silindir basıncı, ısı dağılımı, yanma aşamaları, termik verim, indike ortalama efektif basınç, vuruntu yoğunluğu üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Deneyler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tek silindri, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli bir motor HCCI motora dönüştürülmüştür. Deney motorunun orijinal supap kalkma miktarı emme ve egzoz kamları için 9 mm'dir.

Deney motorunun HCCI modda çalıştırılması için kam mekanizması yeniden tasarlanmış ve emme supabı kalkma miktarı 5.5mm, egzoz supabı kalkma miktarı 3.5 mm olan kamlar adapte edilmiştir. Deneylere başlanmadan, deney motoru önce buji ile ateşleme modunda çalıştırılmış ve motor çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Deneyler sabit soğutucu ve motor yağ sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1’de verilmektedir. Deney motorunun yüklenebilmesi için 6500 d/d’da 30 kW güç absorbe edebilen DC dinamometreye bağlanmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. HCCI yanmasında yakıt özelliklerinin incelenmesi için yapılan çalışmada üç farklı test yakıtı kullanılmıştır. Hacimsel olarak karıştırılan %20 aseton-%80 n-heptan (A20N80), %20 tetrahidrofuran-%80 n-heptan (F20N80) ve saf n-heptan yakıtları kullanılmıştır. Deneyler test yakıtları ile 1400 d/d’da, $\lambda=1.90$ ile $\lambda=2.74$ lamda değerleri arasında, sabit emme havası giriş sıcaklığında (60°C) ve tam yükte HCCI yanma modunda gerçekleştirilmiştir. Aseton ve tetrahidrofuran yakıtlarının HCCI yanması üzerindeki etkileri araştırılmış, n-heptan yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Deney yakıtlarının özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Model	Ricardo Hydra
Silindir sayısı	1
Çap x Kurs	80,26 x 88,9 mm
Silindir hacmi	0,54 L
Maksimum devir	5400 d/d
Maksimum güç	15 kW
Sıkıştırma oranı	13/1
Supap sistemi	Üstten tek eksantrikli
Supap kalkma miktarı	Emme supabı 5.5mm Egzoz supabı 3.5 mm
Yakıt sistemi	Port tipi yakıt enjeksiyonu

Tablo 2. Deney yakıtlarının bazı özellikleri

	Tetrahidrofuran	Aseton	n-Heptan
Kimyasal formülü	C ₄ H ₈ O	C ₃ H ₆ O	C ₇ H ₁₆
Yoğunluk (kg/m ³)	883	791	679.5
Oktan sayısı	86	110	-
Alt ısı değer (kJ/kg)	38800	29600	45500
Kaynama noktası (°C)	65	56.1	98
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı (°C)	321	560	204

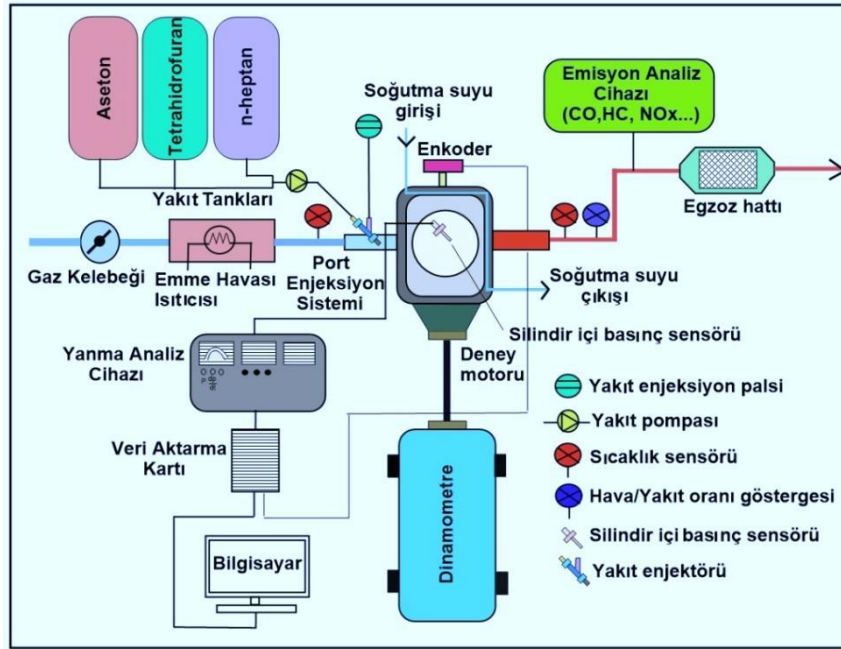
Egzoz emisyonlarının ölçülmesi için Bosch marka egzoz gazı emisyon analiz cihazı kullanılmıştır. Emisyon cihazı CO, CO₂, HC, NO_x, motor devri ve hava/yakıt oranını ölçebilmektedir. Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 3. Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO (% vol)	0.000-10.00	0.001
CO ₂ (% vol)	0.00-18.00	0.01
HC (ppm)	0-9999	1
O ₂ (% vol)	0.00-22.00	0.001
λ	0.500-9.999	0.001
NO (ppm vol)	0-5000	≤1

Piezo Kistler 6121 marka basınç sensörü ile silindir içi ham basınç verileri deney motorundan alınmıştır. Bu amaçla 0.36 °KA aralıklarla silindir basıncının ölçülmesi ve motor devrinin tespiti için krank miline enkoder bağlanmıştır. Alınan silindir içi basınç sinyalleri Cussons P4110 yanma analiz cihazı ile yükseltilmiştir. Ölçülen analog silindir içi basınç sinyalleri veri aktarım kartı kullanılarak dijital verilere

dönüştürülmüş ve bilgisayar kaydedilmiştir. Ölçülen ham silindir içi basınç sinyalleri MATLAB dilinde hazırlanan bir program ile işlenmiş, yanma karakteristikleri ve motor performans göstergeleri belirlenmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Çevrimsel farklılıklardan meydana gelen değişikliklerin azaltılması için ardışık 50 çevrimin silindir basınç verilerinin ortalaması alınarak hesaplama yapılmıştır. Yanma sonu ısı dağılımının belirlenmesi için termodinamiğin birinci kanununa dayalı eşitlik (1) kullanılmıştır. Termodinamiğin birinci kanununa göre silindire alınan karışımın sabit ve ideal gaz olduğu kabulü yapılmıştır. Supaplardan ve segmanlardan gerçekleşen gaz kaçaklarının olmadığı kabul edilmiştir [27-30].

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{heat}}{d\theta} \quad 1$$

Çevrimsel farklılıkların belirlenmesi için eşitlik (2) kullanılmıştır.

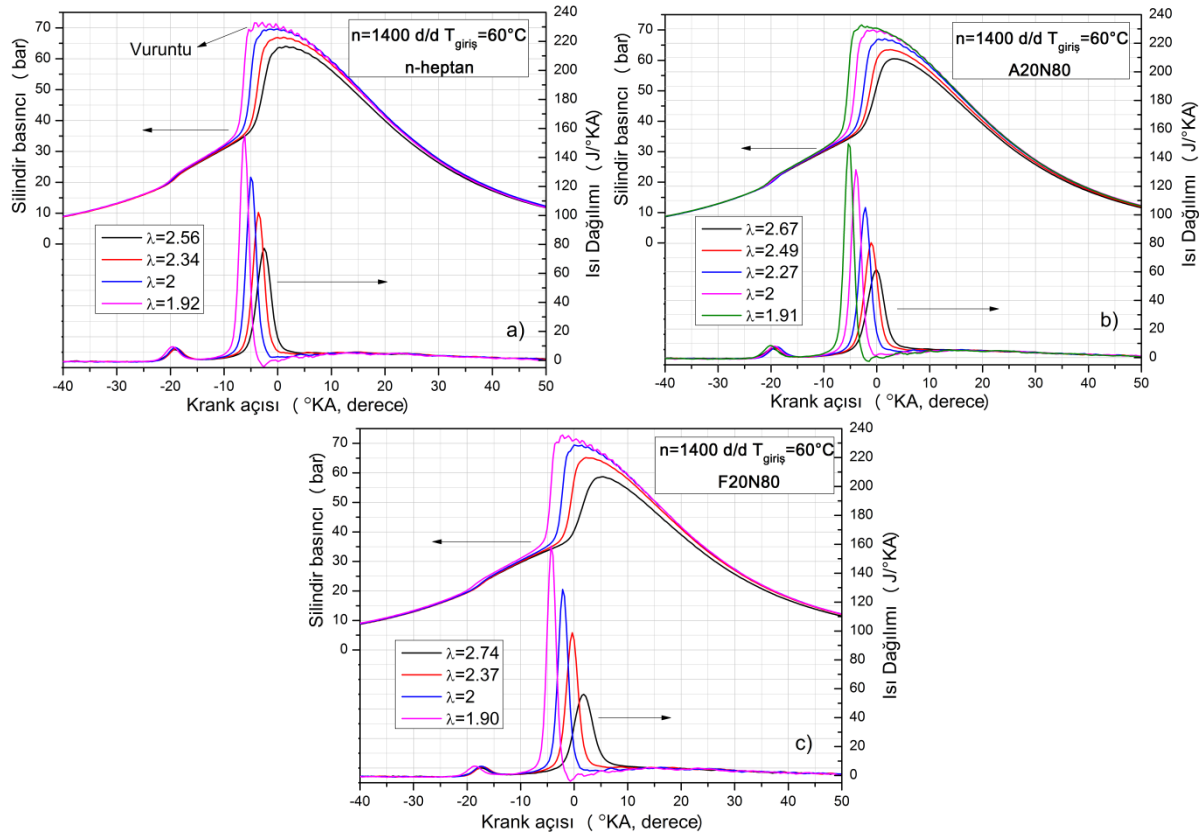
$$COV_{imep} = \frac{\sigma_{imep}}{\bar{X}} \times 100 \quad 2$$

Bu eşitlikte σ_{imep} ardışık 50 çevrim için indike ortalama efektif basınçların standard sapmasını, \bar{X} indike ortalama efektif basınçların ortalamasını göstermektedir. Silindir basıncı artış oranı ve motor devri vuruğu yoğunluğunu etkilemektedir. Eşitlik (3) vuruğu yoğunluğunun hesabı için kullanılmıştır. Verilen eşitlikte γ politropik indeksi, $\frac{dP}{dt}$ maksimum basınç artış oranını, P_{max} ve T_{max} maksimum basınç ve sıcaklıkları göstermektedir [26-30].

$$RI = \frac{1}{2\gamma} \left(\beta \left(\frac{dP}{dt} \right)_{max} \right)^2 \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_{max}} \quad 3$$

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

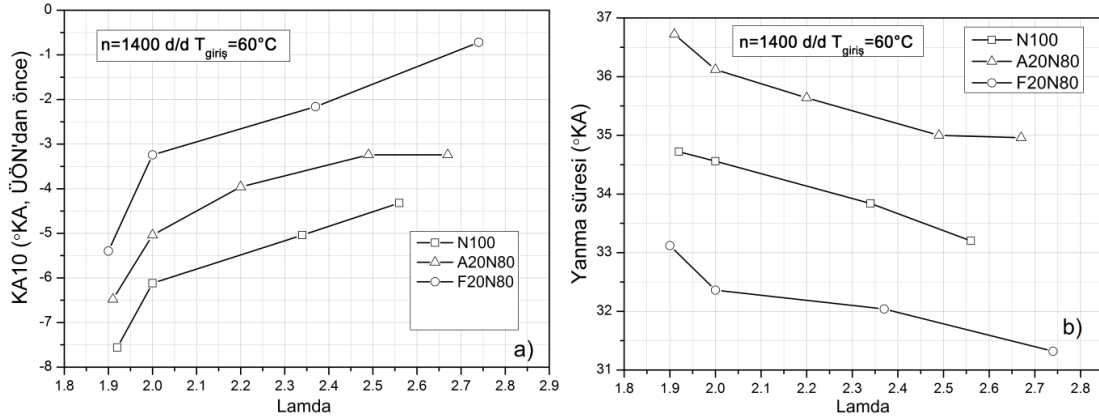
HCCI yanması kimyasal kinetikler tarafından kontrol edilmektedir. Yanma, yanma odasının genelinde aniden eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Buji ile ateşlemeli yanmadaki alev cephesinden farklı olarak homojen karışımın hızlı bir şekilde infilak ederek tutuşması ve kendiliğinden yanması görülmektedir. Dolayısıyla yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleri yanma başlangıcını etkilemektedir. Şekil 2’de n-heptan aseton/n-heptan (A20N80) ve tetrahidrofuran/n-heptan (F20N80) yakıt karışımları ile elde edilen silindir basıncı ve ısı dağılımı grafikleri görülmektedir. Hava/yakıt oranı fakirleştikçe silindir basıncının ve ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. N-heptan ile yapılan çalışmada yakıtın vuruntu direnci olmadığından vuruntu eğilimi görülmüştür. Karışım fakirleştikçe maksimum silindir basıncı tüm test yakıtları için azalmıştır. Yanma odasındaki yakıt konsantrasyonu azaldıkça açığa çıkan ısı enerjisi ve elde edilen basınç azalmaktadır.



Şekil 2. Silindir basıncı ve ısı dağılımı değişimi

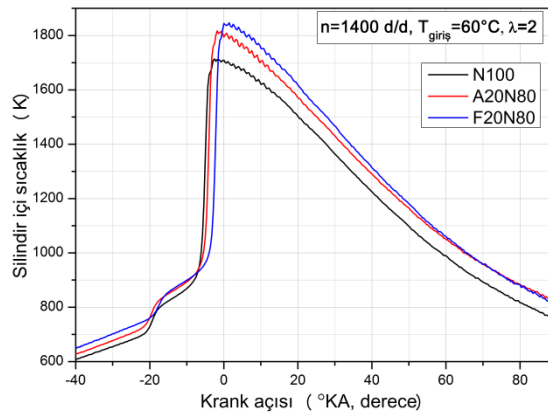
N-heptan yakıtına aseton ve tetrahidrofuran ilavesi ile açıkça görülmektedir ki vuruntu eğilimi azalmaktadır. Oktan sayısı yüksek yakıtların ilavesi kendiliğinden tutuşma şartlarını zorlaştırmaktadır. $\lambda=1.90$ 'da F20N80 yakıtı ile maksimum silindir basıncı elde edilmiştir. Şekil 3-a lamdaya bağlı KA10 değişimini göstermektedir. KA10 karışımın %10'luk bölümünün yanmasını gerçekleştirdiği krank açısını ifade etmektedir. Literatürde yanma başlangıcı olarak da ifade edilebilmektedir. Lamda arttıkça yanma başlangıcının rötara çekildiği görülmüştür. Yakıt moleküllerinin azalması kendiliğinden tutuşma temayülünü azaltmakta, yanma gecikmektedir. Aseton ve tetrahidrofuran ilavesi ile HCCI yanması n-heptana göre geciktirilmiştir. Aseton ve tetrahidrofuranın n-heptana göre yüksek oktan sayısı kendiliğinden gerçekleşen oksidasyon reaksiyonlarını rötara almaktadır. Maksimum KA10 değerleri F20N80 yakıtı ile elde edilmiştir. Yanma süresi karışımın %10 ile %90'ının yanmasını tamamladığı süre arasında kalan krank açısı cinsinden ifade edilebilmektedir. Yanmanın son aşamalarına doğru silindir cidarlarına transfer edilen ısı ve silindir sıcaklığı değişmekte yanmanın tam olarak ne zaman tamamlandığını belirtmek güç olmaktadır. Şekil 3-b test yakıtları ile lamdaya bağlı yanma süresi değişimini göstermektedir. Lamda arttıkça yanma süresinin kısaldığı görülmektedir. Hava fazlalığı arttıkça oksidasyon için bekleyen yakıt molekülü sayısı azalmakta yanma daha erken tamamlanabilmektedir. Aynı zamanda fakir karışımda yanma

sonu gaz sıcaklığı azalmakta alev cephesi daha kısa sürede sona ermektedir. A20N80 yakıtı ile diğer yakıtlara göre yanma süresi daha fazla uzamıştır. F20N80 ile yanma hızının artarak yanma süresinin kısaldığını ifade etmek mümkündür. Tetrahidrofuranın kendiliğinden tutuşma sıcaklığı n-Heptandan yüksek olduğundan yanma süresi n-heptana göre kısalmıştır. Bununla birlikte asetonun yüksek oktan sayısı yanmanın geç başlamasına toplam yanma süresinin uzamasına neden olduğu görülmüştür.



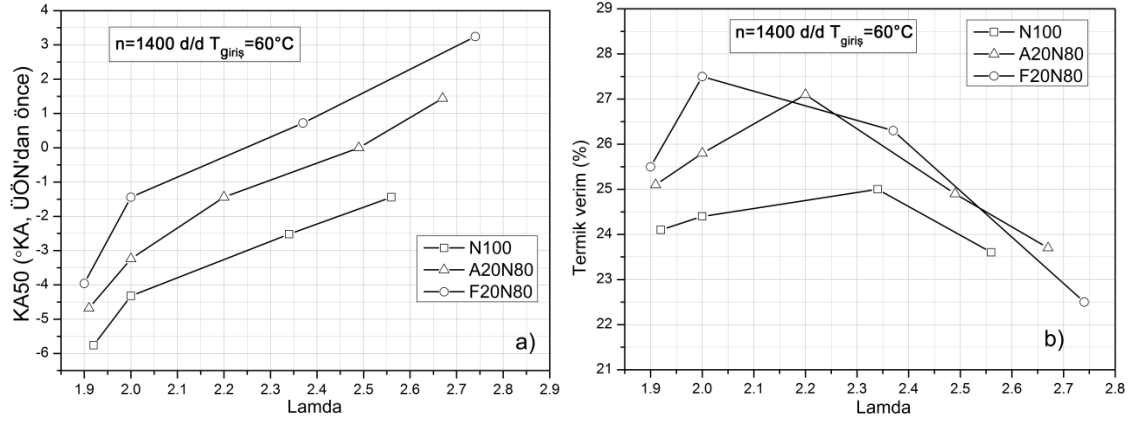
Şekil 3. Yanma başlangıcı ve yanma süresi

Şekil 4'de test yakıtları ile $\lambda=2$ 'de hesaplanan silindir içi gaz sıcaklığı değişimi görülmektedir. Maksimum silindir içi gaz sıcaklığı F20N80 yakıtı ile elde edilmiştir. N-heptan yakıtının yüksek kaynama noktası buharlaşma esnasında ortamdan daha fazla ısı çekilmesine neden olmakta, silindir içi sıcaklık sıkıştırma kursu boyunca daha düşük değerlerden artmaya başlamaktadır. N-heptan yakıtının kalorifik enerjisi diğer yakıtlara göre yüksek olmasına rağmen silindir içi sıcaklığın azaldığı görülmüştür.



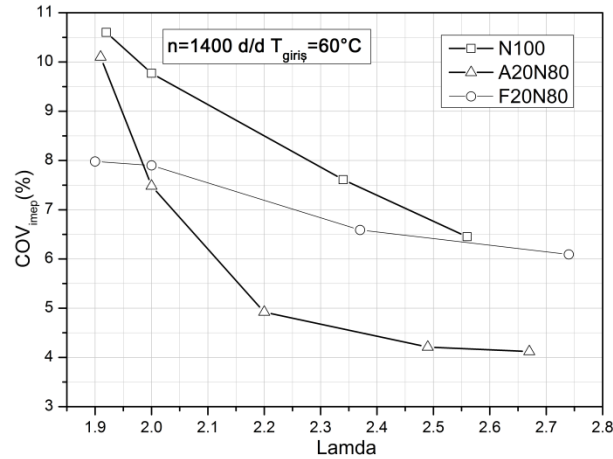
Şekil 4. Silindir içi sıcaklık değişimi

Şekil 5'de lamdanın KA50 ve termik verim üzerindeki etkileri görülmektedir. KA50 karışım kütlelerinin yarısının yanmasını tamamladığı krank açısını ifade etmektedir. Lamda arttıkça tüm yakıtlar için KA50 rötara alınmaktadır. KA10 değerine benzer şekilde hava fazlalığı arttıkça KA50 uzamaktadır. Karışımın fakirleşmesi alev sıcaklığının azalmasına silindir cidarında alevin daha erken sönmeye neden olmaktadır. Bu durum yanma oranının azalmasına sebep olmaktadır. N-heptanın vuruntu direncinin ve kendiliğinden tutuşma sıcaklığının düşük olması KA50 değerini avansa almaktadır. Kendiliğinden oksidasyon reaksiyonları daha kolay gerçekleşmektedir. Maksimum KA50 F20N80 yakıtı ile hesaplanmıştır. Şekil 5-b termik verim değişimini göstermektedir. Tüm test yakıtları için termik verim belli bir lamdaya kadar artmakta daha sonra azalmaya başlamaktadır. Karışımın bir miktar fakir olması yakıt moleküllerinin oksidasyonu için gerekli oksijen konsantrasyonunu sağlamaktadır. Ancak karışımın aşırı fakir olması açığa çıkan ısının ve yanma sonu gaz sıcaklığının azalmasına neden olmaktadır. Yakıt enerjisinin net işe dönüşüm oranı azalmaktadır. KA50 ile termik verim arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Termik verimin yüksek olması için KA50 değerinin üst ölü noktayı hemen geçtikten sonra elde edilmesi gerekmektedir. Maksimum termik verim $\lambda=2$ 'de F20N80 yakıtı ile %27.5 olarak belirlenmiştir. Vuruntu eğilimine bağlı olarak minimum termik verim n-heptan ile belirlenmiştir.



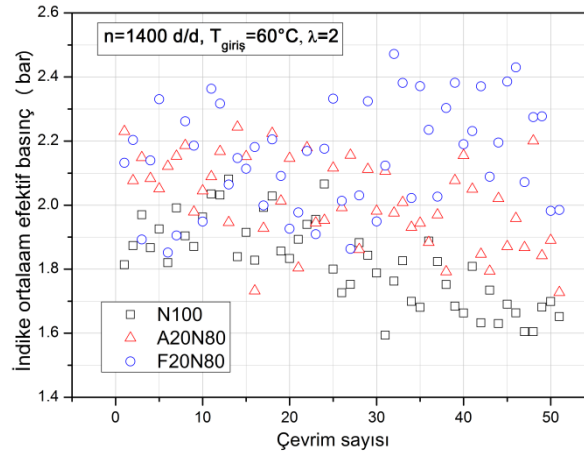
Şekil 5. Lamdanın KA50 ve Termik verim üzerindeki etkisi

Şekil 6 lamdaya bağlı test yakıtları ile belirlenen çevrimsel farklılıkları göstermektedir. Çevrimsel farklılıklar yanma odasındaki karışım kütlelerinin kompozisyonuna, art gaz miktarına, sıkıştırma kursu sonundaki karışımın termodinamik haline bağlı olarak görülmektedir. Kararlı bir yanma için çevrimsel farklılıkların %10'u geçmemesi istenmektedir. Bu motorun kararlılığını ve sürekliliğini ifade eden bir parametredir. Bu çalışmada imep değerlerine bağlı çevrimsel farklılıklar ele alınmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi lamda arttıkça çevrimsel farklılıklar azalmaktadır. Zengin karışımlara doğru yanmada görülen kararsızlık çevrimsel değişikliklere neden olmaktadır ki bu durum özellikle vuruntu eğiliminin görüldüğü noktalarda fark edilmektedir. Karışımın fakirleşmesi yanma sonu gaz sıcaklığının azalmasına reaksiyon hızının yavaşlamasına neden olmaktadır. HCCI yanması bu durumda daha istikrarlı sağlanabilmektedir. Maksimum COV_{imep} n-heptan ile $\lambda=1.92$ 'de %10.6 olarak hesaplanmıştır. N-heptan ile görülen vuruntu eğilimi silindir içi basınç dalgalanmalarının artmasına neden olmakta, motor parçalarına gelen yük ani ve hızlı basınç artışı ile artmaktadır.



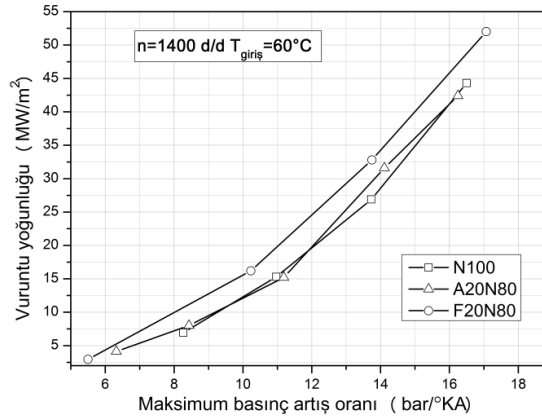
Şekil 6. COV_{imep} değişimi

Oktan sayısı yüksek tetrahidrofur ve aseton kendiliğinden tutuşmanın kontrol altına alınmasına yardımcı olmakta, yanma oranı yavaşlatılabilmektedir. Sonuçta sabit devir ve emme havası giriş sıcaklığında n-heptana göre karışım yakıtları ile çevrimsel farklılıklar azalmaktadır. Şekil 7'de test yakıtları ile ardışık 50 çevrime bağlı imep değerleri görülmektedir. N-heptan yakıtının yüksek kalorifik enerjisine rağmen imep değerlerinin azaldığı görülmüştür. Meydana gelen vuruntu silindir içi basınç dalgalanmalarının görülmesine neden olarak piston üzerine uygulanan basıncın azalmasına sebep vermektedir. F20N80 yakıtı ile imep değerlerinin arttığı görülmektedir. Tetrahidrofur yakıtının yüksek yoğunluğu birim hacimde reaksiyona sokulan kütle cinsinden yakıt miktarının artışına neden olmakta ve imep artmaktadır. Açığa çıkan ısı miktarı kütlece yanan yakıt miktarı arttığından uygulanan basınç artmaktadır. Maksimum imep n-heptan, A20N80 ve F20N80 yakıtları ile $\lambda=2$ 'de sırasıyla 2.08 bar, 2.24 bar ve 2.47 bar elde edilmiştir.



Şekil 7. Ardışık 50 çevrime bağlı imep değerleri

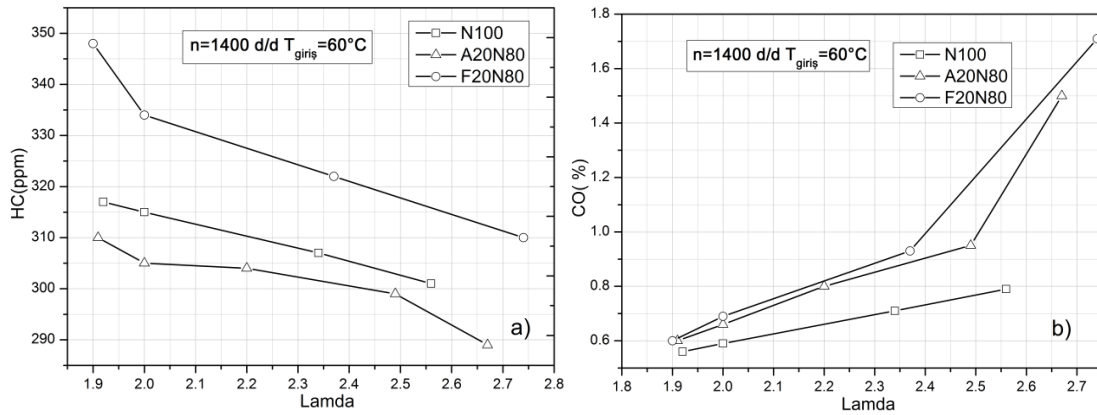
Vuruntu HCCI motorlarda özellikle yüksek yüklerde görülen bir problemdir. Vuruntu yoğunluğu maksimum silindir basıncı, basınç artış oranı ve motor devrine bağlı olarak değişmektedir. HCCI motorlarda vuruntu limiti basınç artış oranı ile ilişkilendirilmektedir [31]. Vuruntu genişleme hızının ses hızından daha yüksek olduğu durumda görülmektedir [32]. Şekil 8 maksimum basınç artış oranına bağlı vuruntu yoğunluğunu göstermektedir. Karışım zenginleştikçe reaksiyona giren yakıt molekülü sayıları ve yanma sonu gaz basıncı artmaktadır. Krank açısı değişimi başına piston üzerine uygulanan basınç aşırı artmaktadır. Aynı zamanda yanma odasında kızgın noktaların tutuşması basıncın dengelenmesi için çok hızlıdır. Sonuçta basınç dalgalanmaları görülmektedir.



Şekil 8. Maksimum basınç artış oranına bağlı vuruntu yoğunluğu değişimi

Stokiyometrik karışım oranına doğru vuruntu yoğunluğu artmaktadır. N-heptan yakıtına aseton ve tetrahidrofuran ilave edildiğinde benzer vuruntu yoğunluğu değerleri elde edildiğini ifade etmek mümkündür. Ancak sabit maksimum basınç artış oranı değerinde F20N80 yakıtı ile vuruntu yoğunluğu daha fazla elde edilmiştir. Tetrahidrofuran yakıtının yoğunluğu ve kalorifik enerjisinin asetona göre yüksek olması oksidasyon reaksiyonlarının iyileşmesine yanma sonu basıncının ani olarak artmasına neden olmaktadır. Sonuçta vuruntu yoğunluğu asetona göre artmaktadır. HCCI yanması düşük sıcaklıklarda meydana geldiğinden yakıt moleküllerinin tamamının oksidasyonu için gerekli sıcaklık yetersiz kalabilmektedir. Aynı zamanda eksik yanma ürünü olan CO oluşumu hızlanmaktadır. Şekil 9-a'da lamdaya bağlı HC emisyonlarının değişimi görülmektedir. Tüm test yakıtları için lamda arttıkça HC azalmaktadır. Hava fazlalığı arttıkça yanma odasında yakıtın oksidasyonu için yeterli oksijen konsantrasyonu sağlanabilmekte, HC azalmaktadır. Zengin karışımlara doğru özellikle daha soğuk silindir cidarlarına yakın bölgelerde yakıtın tutuşturulamaması sonucu alev sönebilmiştir. Sonuçta HC oluşumu görülmektedir. HCCI yanmasında yanma odasının genelinde eş zamanlı bir yanma olmasına rağmen yakıt özelliklerine ve alevin sönmeye bağlı olarak HC emisyonu görülebilmektedir. Maksimum HC $\lambda=1.90$ 'da F20N80 yakıtı ile 348 ppm ölçülmüştür. Tetrahidrofuranın yoğunluğunun yüksek olması kütlece yanmayı bekleyen miktarın artmasına neden olmaktadır. Yeterli oksijen bulamayan yakıt tam olarak tutuşturulamadan

çevrimden atılmaktadır. Sonuçta HC artmaktadır. Minimum HC $\lambda=2.67$ 'de A20N80 yakıtı ile 289 ppm ölçülmüştür. Asetonun kaynama noktasının düşük olması buharlaşma esnasında ortamdaki ısı azalmasına neden olmaktadır. Bu durum sıkıştırma stroku boyunca yanma odası sıcaklığının düşmesini engellemektedir. Aynı zamanda asetonun düşük yoğunluğu birim hacimde kütle bakımından yanmayı bekleyen yakıt miktarını azaltmakta, tam yanma eğilimi meydana gelmektedir. Şekil 9-b'de ise lamdaya bağlı CO değişimi görülmektedir. Lamda arttıkça tüm yakıtlar için CO artmaktadır. Hava fazlalığı arttıkça yanma sonu gaz sıcaklığı azalmakta oksidasyon reaksiyonları yavaşlamaktadır. Bu durum eksik yanmaya neden olmakta, CO formasyonu görülmektedir. Maksimum CO $\lambda=2.56$ 'da n-heptan ile %0.79, $\lambda=2.67$ 'de A20N80 ile %1.5 ve $\lambda=2.74$ 'de F20N80 ile %1.71 ölçülmüştür. CO yanma odasında oksijen yetersizliğine bağlı olarak oluşabilmektedir. Asetonun yüksek oksijen içeriği yakıtın oksidasyonu için yeterli oksijenin ihtiva edilmesine olanak sağlamakta, CO oluşum tetrahidrofurana göre azalmaktadır. N-heptanın vuruntuya karşı direncinin olmaması basıncın ve sıcaklığın ani olarak artmasına neden olmakta, CO CO_2 'e dönüşebilmektedir. Sonuçta CO oluşumu engellenebilmektedir.



Şekil 9. HC ve CO emisyonlarının lamdaya bağlı değişimi

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

HCCI yanmasında özellikle yüksek yüklerde ve zengin karışım oranlarında vuruntu eğilimi görülmektedir. Aynı zamanda fakir homojen karışımın yanması sonucu yanma sonu gaz sıcaklığı azaldığından HC ve CO oluşumu görülmektedir. Kendiliğinden tutuşma şartları yakıtın fiziksel özelliklerinden etkilenmektedir. Bu çalışmada n-heptan yakıtına aseton ve tetrahidrofuran ilavesinin yanma ve performans karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Aseton ve tetrahidrofuran yakıtlarının vuruntu eğilimini azalttığı görülmüştür. Lamda arttıkça silindir basıncı ve ısı dağılımı azalmıştır. $\lambda=2$ 'de termik verim F20N80 yakıtı ile A20N80 ve n-heptan yakıtına göre sırasıyla %6.5 ve %12.7 artmıştır. A20N80 ve F20N80 yakıtları ile n-heptana göre daha yüksek imep değerleri elde edilmiştir. $\lambda=2$ 'de A20N80 yakıtı ile F20N80 ve n-heptana göre HC %9.5 ve %3.17 azalmıştır. Sonuçta aseton ve tetrahidrofuran yakıt karışımları ile deney motorunun 1400 d/d'da $\lambda=1.90$ ile $\lambda=2.67$ lamda aralığında HCCI yanma modunda kararlı bir şekilde çalıştığı, HCCI çalışma aralığının vuruntu bölgesinde genişletilebileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] C.H. Zhang, J.R. Pan, J.J. Ton, J. Li, „Effects of Intake Temperature and Excessive Air Coefficient on Combustion Characteristics and Emissions of HCCI Combustion, in 2011 2nd International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering, Q. Zhou, Editor. Elsevier Science Bv: Amsterdam, (2011) 1119-1127.
- [2] H.F. Liu, J. Xu, Z.Q. Zheng, S.J. Li, M.F. Yao, Effects of Fuel Properties on Combustion and Emissions Under Both Conventional and Low Temperature Combustion Mode Fueling 2,5-Dimethylfuran/Diesel Blends, Energy, (2013) 62:215-23.

- [3] J. Benajes, S. Molina, A. García, E. Belarte, M. Vanvolsem, An Investigation on RCCI Combustion in A Heavy Duty Diesel Engine Using in Cylinder Blending of Diesel and Gasoline Fuels, *Applied Thermal Engineering*, (2014) 63, 66-76.
- [4] D. Splitter, M. Wissink, D. DelVescovo, R. Reitz, RCCI Engine Operation Towards 60% Thermal Efficiency, SAE International, (2013) 2013-01-0279.
- [5] F. Aksoy, E. Yılmaz, %10 Balık Yağı Biyodizeli-%90 Dizel Yakıt Karışımı İle Çalışan Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Yanma ve Performans Karakteristiklerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1) (2019) 12-24.
- [6] S. Polat, H. Solmaz, H.S. Yücesu, A. Uyumaz, Bir Dizel Motorunun Bilgisayar Yardımı İle Termodinamik ve Performans Analizi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 1(3) (2013)139-151.
- [7] A. Uyumaz, F. Boz, Ş.A. Baydır, Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Atık Zeytinyağı Biyodizelinin Yanma, Performans ve Emisyon Karakteristikleri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1) (2018) 55-65.
- [8] R.D Reitz, G. Duraisamy, Review of High Efficiency and Clean Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) Combustion in Internal Combustion Engines, *Progress in Energy and Combustion Science*, in-press.(2014) 1-60.
- [9] R. Stone, Introduction to Internal Combustion Engines, Macmillan Press Ltd, ISBN 0-333-74013-0, Tessaux, I.; Toxicoll, Lett., 2004, 149, (1999) 295-300.
- [10] J. A. Eng., Characterization of Pressure Wave Oscillation in HCCI Combustion, SAE Paper 2002-01-2859. (2002).
- [11] H.W. Wu, R.H. Wang, D.J. Ou, Y.C. Chen, T.Y. Chen, Reduction of smoke and nitrogen oxides of a partial HCCI engine using premixed gasoline and ethanol with air, *Applied Energy*, 88(11) (2011) 3882-3890.
- [12] M.T. Garcia, F.J.J.E. Aguilar, T.S. Lencero, J.A.B. Villanueva, A New Heat Release Rate (HRR) Law For Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Combustion Mode, *Applied Thermal Engineering*, 29(17-18) (2009) 3654-3662.
- [13] F. Hadia, S. Wadhah, H. Ammar, O. Ahmed, Investigation of Combined Effects of Compression Ratio and Steam Injection on Performance, Combustion and Emissions Characteristics of HCCI Engine, *Case Studies in Thermal Engineering*, 10 (2017) 262-271.
- [14] H.J. Curran, A.P. Gaffuri, A.P.J. Pitz, A.J.K. Westbrook, A Comprehensive Modeling Study of n-heptane Oxidation, Combustion and Flame, 114(1-2) (1998) 149-177.
- [15] J.E. Dec, and M. Sjöberg, Isolating The Effects of Fuel Chemistry on Combustion Phasing in an HCCI Engine and The Potential of Fuel Stratification for Ignition Control, SAE paper. 2004-01-0557.
- [16] X.C. Lu, H. Yuchun, Z. Linlin, H. Zhen, Experimental Study on The Auto-Ignition and Combustion Characteristics in The Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Combustion Operation with Ethanol/N-Heptane Blend Fuels by Port Injection, *Fuel*, 85(17-18) (2006) 2622-2631.
- [17] C.H. Zhang, J.R. Pan, J.J. Tong, J. Li, Effects of Intake Temperature and Excessive Air Coefficient on Combustion Characteristics and Emissions of HCCI Combustion, in 2011 2nd International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering, Q. Zhou, Editor. Elsevier Science Bv: Amsterdam, (2011) 1119-1127.

- [18] M. Gautam, D.W. Martin, Combustion Characteristics of Higher-alcohol/gasoline Blends, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part a-Journal of Power and Energy, 214(A5) (2000) 497-511.
- [19] A.Turkcan, A.N. Ozsezen, M. Canakci, Experimental investigation of the Effects of Different Injection Parameters on a Direct Injection HCCI Engine Fueled with Alcohol-gasoline Fuel Blends, Fuel Processing Technology, 126 (2014) 487-496.
- [20] M.M. Hasan, M.M. Rahman, K. Kadirgama, D. Ramasamy, Numerical Study of Engine Parameters on Combustion and Performance Characteristics in an n-heptane Fueled HCCI Engine, Applied Thermal Engineering, 128 (2018) 1464-1475.
- [21] A. Uyumaz, An Experimental Investigation into Combustion and Performance Characteristics of an HCCI Gasoline Engine Fueled with n-heptane, Isopropanol and n-butanol Fuel Blends at Different Inlet Air Temperatures. Energy Conversion and Management, 98 (2015) 199-207.
- [22] C. Çınar, A. Uyumaz, H. Solmaz, F. Şahin, S. Polat, E. Yılmaz, Effects of Intake Air Temperature on Combustion, Performance and Emission Characteristics of a HCCI Engine Fueled with the Blends of 20% n-heptane and 80% isooctane fuels, Fuel Processing Technology, 130 (2015) 275–281.
- [23] C. Çınar, A. Uyumaz, H. Solmaz, T. Topgül, Effects of Valve Lift on the Combustion and Emissions of a HCCI Gasoline Engine, Energy Conversion and Management, 94 (2015) 159–168.
- [24] B.Q. He, M.B. Liu, J. Yuan, H. Zhao, Combustion and Emission Characteristics of a HCCI Engine Fuelled with n-butanol-gasoline Blends, Fuel, 108 (2013) 668-674.
- [25] J.H. Mack, D. Schuler, R.H. Butt, R.W. Dibble, Experimental Investigation of Butanol Isomer Combustion in Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engines, Applied Energy, 165 (2016) 612-626.
- [26] A. Calam, H. Solmaz, E. Yılmaz, Y. İçingür, Investigation of Effect of Compression Ratio on Combustion and Exhaust Emissions in A HCCI engine, Energy, 168 (2019) 1208-1216.
- [27] H. Zhao, HCCI and CAI Engines For The Automotive Industry, Cambridge England: Woodhead Publishing Ltd. (2007).
- [28] J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, New York: McGraw- Hill, (1988)
- [29] S. Polat, K. Kannan, M. Shahbakhti, A. Uyumaz, H.S. Yücesu, An Experimental Study for the Effects of Supercharging On Performance and Combustion of an Early Direct Injection HCCI Engine, Second International Reserch Conference On Engineering, Science and Management, Dubai, (2015).
- [30] A. Uyumaz, H. Solmaz, RCCI Bir Motorda Enjeksiyon Zamanlaması ve Lamdanın Yanma ve Performans Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 4(4) (2016) 299-308.
- [31] D. Yap, J. Karlovsky, A. Megaritis, M.L. Wyszynski, H. Xu, An Investigation into Propane Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engine Operation with Residual Gas Trapping, Fuel, 84 (2005) 2372–2379.
- [32] P.E. Yelvington, W.H. Green, Prediction of the Knock Limit and Viable Operating Range for a Homogeneous-Charge, Compression-Ignition (HCCI) Engine, SAE Paper 2003-01-1092, (2003).

An Application for Computer-Assisted Automatic Segmentation of Liver on Computed Tomography Images

Emre DANDIL^{1,*}¹Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 11210, Bilecik/TURKEY

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 11/02/2019

Revision: 09/08/2019

Accepted: 29/08/2019

Highlights

- Creating a new comprehensive liver dataset on CT scans
- An automated computer-assisted method for the segmentation of the liver
- An application software for segmentation process
- Using Region Growing and Fuzzy C-Means methods to segment liver region

Keywords

Liver
 CT Imaging
 Computer-Assisted Detection
 Image Segmentation
 Fuzzy C-Means
 Region Growing

In this study, an automated computer-assisted method for the segmentation of the liver on abdominal computed tomography (CT) images is proposed and an application software is developed for segmentation. The segmentation process is performed by using Region Growing (RG) and Fuzzy C-Means (FCM) methods by means of the developed application software. The similarities of segmentation results obtained by RG and FCM algorithms and the liver regions determined by the physician are measured quantitatively using the application software. As a result of experimental studies, RG algorithm is more successful than FCM algorithm both in terms of similarity rates and statistical results.

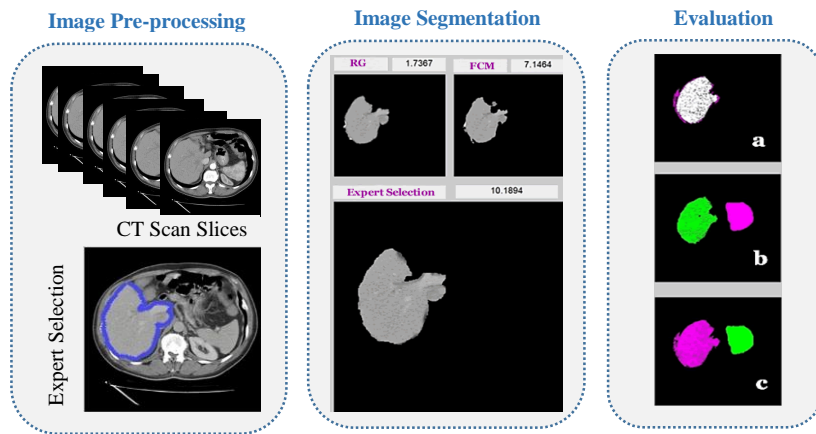


Figure A. Liver segmentation procedure on CT scans using proposed method

Purpose: The liver is a vital organ in the body. In liver-related diseases, especially CT scans, the delineation of the liver is essential for diagnosis and treatment planning. In order to improve the accuracy of the segmentation of liver, a computer-assisted method based on RG and FCM and an application software are proposed on abdominal CT images in this paper.

Theory and Methods: For the segmentation of the liver region, RG and FCM algorithms are used. In order to measure the performance of segmentation with these algorithms, a physician marked out the boundary of the liver. In the study, the segmentation results obtained by the RG and FCM algorithms are compared on the developed application software using physician selection criteria. Jaccard similarity criterion are used to compare segmentation results.

Results: In the experimental studies on 88 CT images, average performance values are obtained for 91.15% in the RG algorithm and 75.16% in the FCM algorithm according to the Jaccard similarity criterion. In computational times, the RG algorithm is more successful than the FCM algorithm, measured on average from 3.15 seconds to 7.50 seconds.

Conclusion: In the study, segmentation with the RG algorithm is more successful. In addition, the statistical significance of quantitative values obtained from similarity measurements is measured. It is concluded that the segmentation results obtained by the RG algorithm revealed a significant difference by evaluating the significance tests. Moreover, the segmentation process times are compared with both segmentation methods and segmentation with RG is found to be faster. The findings show that the proposed method can be used as a secondary tool in the decision-making process of physicians.

GU J Sci, Part C, 7(3): 712-728 (2019)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

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

Bilgisayarlı Tomografi Görüntüleri Üzerinde Karaciğer Bölgesinin Bilgisayar Destekli Otomatik Bölütleme Uygulaması

Emre DANDIL^{1,*}¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 11210, Bilecik/TÜRKİYE

Öz

Son yıllarda, görüntüleme tekniklerinin gelişmesi sayesinde bilgisayar destekli tespit (BDT) sistemleri, tıbbi görüntü bölütlemeye yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. BDT'de görüntü işleme uygulamalarında en önemli aşama bölütleme işleminin yüksek doğruluk ile yapılmasıdır. Bu çalışmada, karın bölgesinden çekilen bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri üzerinde karaciğerin bölütlenmesi için bilgisayar destekli otomatik bir yöntem ve bir uygulama yazılımı geliştirilmiştir. Karaciğer bölgesinin bölütleme işlemi için, bölge büyütme (RG) ve bulanık C-ortalama (FCM) algoritmalarından yararlanılmıştır. Bu algoritmalar ile yapılan bölütlemelerin başarımının ölçümü için, bir hekimden karaciğer sınırlarının belirlenmesi aşamasında uzman desteği alınmıştır. Çalışmada geliştirilen uygulama yazılımı üzerinde, uzman tarafından yapılan seçim ölçütü olarak kullanılarak, RG ve FCM algoritmaları ile elde edilen bölütleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması için Jaccard benzerlik ölçütü kullanılmıştır. 88 BT görüntüsü üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, Jaccard benzerlik ölçütüne göre, RG algoritmasında %91.15 ve FCM algoritmasında %75.16 bölütleme için ortalama başarımlar elde edilmiştir. Sonuç olarak RG algoritması ile yapılan bölütleme işlemlerinin daha başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca, benzerlik ölçümleri sonucunda bulunan nicel değerlerin istatistiksel olarak anlamlılık testlerinin değerlendirilmeleri de gerçekleştirilmiş ve RG algoritması ile elde edilen bölütleme sonuçlarının, anlamlı bir fark ortaya koyduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunlara ek olarak, her iki bölütleme metodu ile bölütleme işlem zamanlarının karşılaştırmaları da yapılmış ve RG ile yapılan bölütleme işleminin daha hızlı olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular, önerilen yöntemin, hekimlerin karar verme aşamasında ikincil bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 11/02/2019

Düzeltilme: 09/08/2019

Kabul: 29/08/2019

Anahtar Kelimeler

Karaciğer
BT Görüntüleme
Bilgisayar Destekli Tespit
Görüntü Bölütleme
Bulanık C-Ortalama
Bölge Büyütme

Keywords

Liver
CT Imaging
Computer-Assisted Detection
Image Segmentation
Fuzzy C-Means
Region Growing

An Application for Computer-Assisted Automatic Segmentation of Liver on Computed Tomography Images

Abstract

In recent years, thanks to the development of imaging techniques, computer aided detection (CAD) systems have become widely used in medical image segmentation. The most important step in CAD image processing applications is to perform segmentation with high accuracy. In this study, an automated computer-assisted method and an application software for the segmentation of the liver on abdominal computed tomography (CT) images are developed. For the segmentation of the liver region, region growing (RG) and fuzzy C-means (FCM) algorithms are used. In order to measure the performance of segmentation with these algorithms, a physician marked out the boundary of the liver. In the study, the segmentation results obtained by the RG and FCM algorithms are compared on the developed application software using physician selection criteria. Jaccard similarity criterion are used to compare segmentation results. In the experimental studies on 88 CT images, average performance values are obtained for 91.15% in the RG algorithm and 75.16% in the FCM algorithm according to the Jaccard similarity criterion. As a result, segmentation with the RG algorithm is more successful. In addition, the statistical significance of quantitative values obtained from similarity measurements is measured. It is concluded that the segmentation results obtained by the RG algorithm revealed a significant difference by evaluating the significance tests. Moreover, the segmentation process times are compared with both segmentation methods and segmentation with RG is found to be faster. The findings show that the proposed method can be used as a secondary tool in the decision-making process of physicians.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan vücudu için çok önemli hayati işlevlere sahip olan karaciğer kan ile alınan besinlerin işlenmesi gibi birçok görevi yerine getirmektedir. Tüm bunların yanında karaciğerde hepatit, siroz, kist ve tümör gibi birçok hastalıkta meydana gelmektedir. Bu şekilde karaciğerde oluşan hastalıklar son yıllarda, halk arasında hem sosyal hem de ekonomik yönden önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problem sebebiyle de insanlar maddi ve madeni kayıplara uğramaktadır. Karaciğerde oluşan tümör gibi hastalıklar erken bir evrede teşhis edilirse, hastaların hayatta kalma şansı artabilmektedir. Bununla beraber karaciğer hastalıklarının, erken dönemde uyarı vermemesi hem erken tanı konulmasını zorlaştırmakta hem de kaybedilen hayatların sebebini tam olarak açıklamamaktadır. Bu durumda karaciğer hastalıklarının tanı aşamasında, Bilgisayar destekli tespit (BDT) sistemlerinin önemli bir yeri vardır. Çünkü hekim tarafından erken teşhis ve müdahale, iyileşme süresi ile doğru orantılı olarak görülmektedir.

Bilgisayarlı tomografi (BT), uzmanların bilgi edinmeleri ve karaciğer hastalıklarının incelenmesi için en sık kullanılan görüntüleme tekniğidir [1]. Görüntüleme yöntemlerinin geliştirilmesi ile karaciğerde oluşan hastalıkları tespiti için yüksek çözünürlüklü BT ile veri kümeleri elde etme mümkün olmuştur. Tıbbi bir veri kümesindeki çok sayıda görüntü nedeniyle, tüm bu görüntülerin kontrol edilmesi uzman için zor bir iş haline gelmektedir. Ayrıca teşhis için bazı yararlı bilgiler göz ardı edilebilir. Dahası teşhis koyacak olan uzmanın öznel değerlendirmesine dayalı ve uzmanın tecrübesine bağlıdır. Bununla birlikte BDT sistemleri ile radyolog, tıbbi görüntülerin bilgisayarlı analizi ile tümörlerin saptanmasında, yorumlama ve teşhis becerilerini artırarak hekim için ikincil bir görüş olarak bilgi verebilir.

Bilgisayarlı görüntüleme yöntemleri ile elde edilen veri miktarının artışı ile beraber anomalinin başka bir doku arasına gizlenmiş olması, dokuların benzer kontrast değerine sahip olması, görüntü hacminin büyük olması, göz yorgunluğu ve iş yükü vb. sebeplerden dolayı hekim tarafından tanı konulması zorlaşabilmektedir. Aynı zamanda anomalinin de kaçırılmasına sebep olmaktadır. Buna benzer durumlarda BDT sistemlerinin görüntü analizinde kullanılmasının gerekliliği kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. BDT sistemlerinin hızla gelişmesi, tıbbi görüntülerin hızlı ve hassas bir şekilde bölütlemesi ile beraber oldukça dikkat çekmektedir.

BDT sistemleri genellikle ön işleme, bölütleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından oluşmaktadır [2]. Görüntü bölütleme ise BDT sistemlerinin en önemli aşamasıdır. Bölütleme bir görüntüyü önceden tanımlanmış ölçütlere göre benzer özelliklere sahip bölgelere veya nesnelere bölme işlemidir [3]. Karın BT görüntülerinden karaciğerin bölütlemesi, karaciğerde oluşan hastalığın doğru tespiti için çok önemli bir ön adımdır. Karaciğer bölütleme işlemi, BT görüntüsünden karaciğer bölgesini doğru bir şekilde çıkarmaktır. Özellikle, karaciğer karın bölgesinde ve hatta radyologların yardımıyla bölütleme için en zor organ olarak kabul edilmektedir [4]. Karaciğer yumuşak dokulardan yapıldığı ve hastalar arasında karaciğer geometrisinin farklılıklar gösterdiği için bu bölütleme sürecinin zorluğu karaciğer formunun kendisinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, karaciğer BT gri görüntülerinde aralarında sınırlı bir kontrast oluşturan kalp, mide ve böbrek gibi komşu organlarla benzer doku yoğunluğuna sahip olması, hasta hareketlerinin sebep olduğu bulanık sınırların oluşması bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında BT karaciğer görüntülerinden tümör bölütlemesi, sağlıklı dokular ve tümörler arasındaki küçük gözlemlenebilir değişiklikler nedeniyle de zorlu bir görevdir.

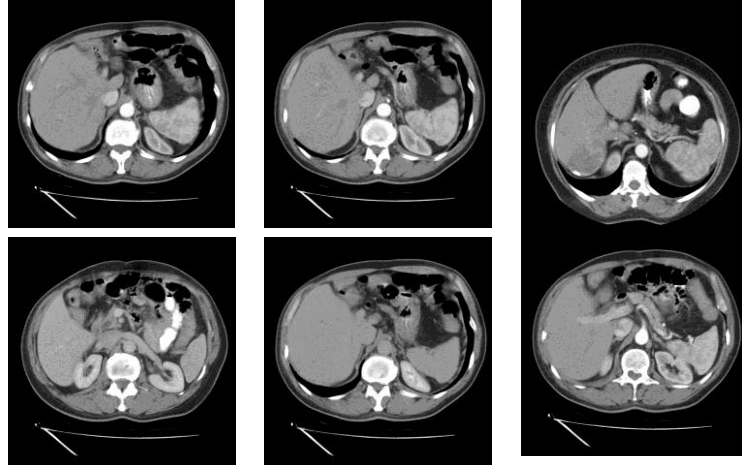
BT görüntü veri kümelerinde karaciğer bölütlemesi için çeşitli yaklaşımlar kullanılmıştır. Bazıları yarı otomatik iken, bazıları da tam otomatik olarak önerilmiştir. Yarı otomatik yöntemler, işlem için bilgisayara ilgilenilen bölgeyi belirtmek için kullanıcı müdahalesi gerektirir. Literatürde karaciğerin bölütlemesi için histogram/yoğunluk tabanlı eşik ve çok modlu eşikler [5, 6], karaciğerin istatistiksel atlas ve şekil tabanlı modeller [7, 8], Level-set [9, 10], active contour [11], yılan modeli [12, 13] ve FCM kümeleme algoritması [14] gibi yaygın olarak kullanılan bölütleme yöntemleri önerilmiştir. Bunlara ek olarak, literatürde karaciğer tümörlerinin tespiti amacıyla BT tarama görüntüleri üzerinde karaciğerin bölütlemesi için birçok çalışma bulunmaktadır. Kumar vd. [15] çalışmalarında, BT radyografilerinden karaciğer lezyonunun otomatik olarak bölütlemesini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar manuel bölütleme ile karşılaştırılmıştır ve değerlendirilmiştir. Bir diğer çalışmada, Häme vd. [16] ise geliştirdikleri yöntem ile yarı otomatik ve en az kullanıcı etkileşimi gerektirecek şekilde çalışan parametrik olmayan, yoğunluk tahminine dayanan ve gizli bir Markov ölçüsü modeline dayanan bir yaklaşım ile karaciğerin bölütlemesini gerçekleştirmişlerdir. Yöntemin doğruluğu, iki hasta veri seti ve yapay olarak üretilmiş örnekler ile

gösterilmiştir. Başka bir çalışmada da, Militzer vd. [17] çalışmalarında, BT görüntülerinden karaciğer bölgesini otomatik olarak tespit etmek ve bölütlemek için yeni bir sistem önermişlerdir. Sınıflandırma aşamasında olasılıksal bir yöntem kullanarak karaciğer lezyonunun otomatik olarak algılanarak bölütlenmesini sağlamışlardır. Bir diğer çalışmada Ciecholewski [18], karaciğer şeklini otomatik olarak bölütleyen yeni bir yöntem sunmuştur. BT görüntüleri üzerinde bu yöntem ile yapılan bölütleme sonucunda Dice benzerlik katsayısı ile doğrulama sağlanmıştır. BT görüntüleri üzerinde karaciğer organının bölütlenmesi konusunda güncel çalışmalar incelendiğinde, daha çok otomatik olarak bölütleme yapan yöntemler öne çıkmaktadır. Shi vd. [19] çalışmalarında, bölge-tabanlı seyrek şekil birleştirmesi ile BT görüntülerini kullanarak karaciğer bölütlemesi gerçekleştirmişlerdir. Liao vd. [20] çalışmalarında, BT görüntüleri üzerinde graf tabanlı ve sınır adımıyla ile karaciğerin otomatik bölütlenmesini gerçekleştirmişlerdir. Huang vd. [21] çalışmalarında, BT görüntülerinden karaciğerin otomatik bölütlenmesi için graf tabanlı ve özellik tespitine dayalı bir yöntem önermişlerdir. Anter ve Hassenian [22] ise çalışmalarında, BT görüntüleri üzerinde nötrozofik kümeler, hızlı FCM ve adaptif watershed algoritmaları ile melez bir karaciğer bölütleme yöntemi önerilmiştir. Karaciğer bölütlemesi için graf tabanlı ve U-Net sinir ağlarına dayalı bir diğer çalışmada, Liu vd. [23] BT taramalarından karaciğerin bölütlenmesini uygulamışlardır.

Literatürde daha önce önerilen çalışmalar incelendiğinde, özellikle karaciğer gibi yumuşak dokuya sahip organlar üzerinde, komşuluk piksellerinin durumlarını da dikkate alarak bölütleme veya kümeleme yapan yöntemler ile bölge tabanlı yöntemlerin daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir [22, 24, 25]. Bu çalışmada da karın bölgesinden alınmış BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölgesinin ayrıştırılması için piksel tabanlı bölütleme yöntemlerinden başarılı olan bulanık C-ortalamaları (FCM) ve bölge tabanlı bölütleme yöntemlerinden bölge büyütme (RG) algoritmalarına dayalı olarak bir yöntem önerilmiştir. Çalışmada elde edilen bölütleme sonuçlarının uzman seçimi ile karşılaştırılması için bir uygulama yazılımı da geliştirilmiştir. Uygulama ile otomatik olarak elde edilen bölütleme sonuçları uzman seçimi ile elde edilen sonuçlar ile Jaccard benzerlik ölçütü ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca iki bölütleme yönteminin çalışma süreleri ölçülerek zaman karşılaştırılması da yapılmıştır. Ayrıca benzerlik ve zaman ölçütlerine göre yapılan karşılaştırma sonuçları da değerlendirilerek istatistiksel analiz de yapılmıştır. Çalışmanın sonraki bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde çalışma kapsamında oluşturulan ve kullanılan görüntü veriseti sunulmuştur. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan FCM ve RG bölütleme yöntemleri açıklanmış, dördüncü bölümde geliştirilen uygulama yazılımının detaylı açıklaması ile deneysel çalışmalardan bahsedilmiştir. Final bölümünde ise çalışmanın sonuçlarına değinilmiştir.

2. GÖRÜNTÜ VERİSETİ (IMAGE DATASET)

Bu çalışmada yer alan farklı hastalara ait BT görüntüleri Dr. Nafiz Körez Sincan Devlet Hastanesinin Radyoloji bölümünden temin edilmiştir. Taramaların elde edildiği BT cihazı GE marka olup 16 kesite kadar görüntü alabilmektedir. BT cihazının edinim parametrelerinden kesit toplamı 1.0 mm ve kesit genişliği 1.0 mm'dir. Taramalar 130 kV ve 75 mA'da alınmıştır. Karın (abdomen) bölgesinden taranan BT görüntüleri 26 farklı hastadan alınmış olup hastaların yaşları 32 ile 67 arasında değişmektedir. BT görüntüleri cihazdan DICOM formatında alındıktan sonra 512x512 piksel boyutuna dönüştürülmüştür. Her hastadan aksiyel düzlemde 28 ile 132 arasında farklı sayılarda karın bölgesinin kesiti alınmıştır. Uzman eşliğinde her hastadan en az 1 kesit olmak üzere toplamda çalışmada kullanılmak üzere toplamda 88 en uygun kesit belirlenmiştir. Daha sonra ön işleme teknikleri kullanılarak görüntü iyileştirilmesi ve görüntü üzerindeki gürültülerin giderilmesi sağlanmıştır. MATLAB programında geliştirilen uygulama yazılımı ile RG ve FCM algoritmaları kullanılarak karın BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölgesinin bölütlenmesi sağlanmıştır. Verisetinde yer alan bu görüntülerin bir bölümü Şekil 1'de gösterilmiştir.



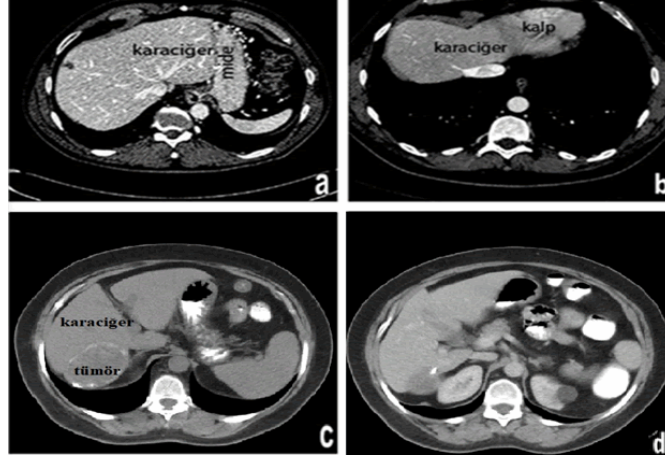
Şekil 1. Çalışma kapsamında oluşturulan BT görüntü verisetinin bir bölümü

3. GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME (IMAGE SEGMENTATION)

Genellikle ön işleme, bölütleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından oluşan BDT sistemlerinin en önemli aşamalarından birisi görüntü bölütleme sürecidir. Bölütleme bir görüntüyü önceden tanımlanmış ölçütlere göre benzer özelliklere sahip bölgelere veya nesnelere bölme işlemi olarak tanımlanabilir [26]. Görüntü bölütleme işleminden önce gürültüleri azaltmak, görüntüyü iyileştirmek için bazı ön-işleme prosedürleri işletilmektedir. Görüntü iyileştirme bir görüntüde oluşan bozulmaları ortadan kaldırmak için kullanılır[27]. Bu çalışmada ön-işleme aşamasında görüntüyü iyileştirmek ve görüntü üzerindeki gürültüleri yok etmek için bazı filtrelerden yararlanılmıştır. BT görüntüleri üzerindeki gürültüleri yok edebilmek için 3x3 medyan filtre tercih edilmiştir. Genleşme yöntemi ile BT görüntüsü üzerinde yapısal element ile birlikte gezerek görüntü genişletilmiş ve küçük boşlukların doldurulması sağlanmıştır.

Görüntü işlemede ilk adım nesne ayrıntılarının tanımlanmasıdır. Nesne tanımlandıktan sonra ilgili obje ile diğer objelerden ve arka plandan ayrılması gerekmektedir. Bu işlemden sonra ise piksellerin objeye ait olup olmadığı belirlenmektedir. Karın BT görüntüleri üzerinde karaciğerin başarılı bir şekilde bölütlenmesinin yapılabilmesi tamamen bölütleme algoritmasının başarısına bağlıdır. Bu çalışma için geliştirilen uygulama yazılımında bölütleme işlemi için bölge büyütme (Region Growing, RG) ve bulanık C-ortalamları (Fuzzy C-Means, FCM) yöntemleri kullanılmıştır. Bu algoritmalar ile elde edilen bölütleme sonuçları, bir uzman tarafından serbest seçimi yapılarak elde edilen bölütleme sonucu ile kıyaslanarak algoritmaların başarımlarının analizi gerçekleştirilmiştir.

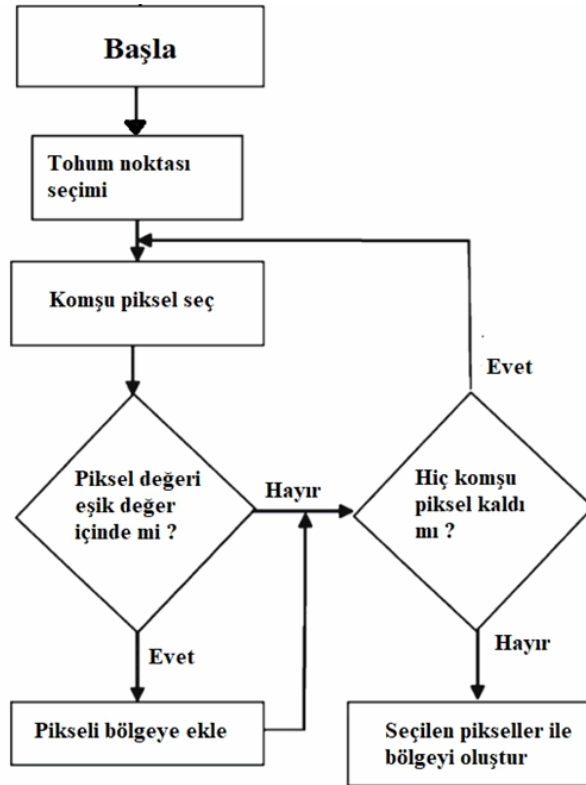
Karın BT görüntülerinin karaciğer üzerinde bölütleme işleminin kolaylıkla yapılmasında seçilen görüntünün de etkisi olabilmektedir. Bölütleme sırasında karaciğer görüntülerinin hastalar arasında yüksek değişkenlik göstermesi, tomografi çekimi esnasında hastaların hareketli olmasından kaynaklı bulanık sınırların oluşması, karaciğerin yanında yer alan böbrek, kalp, mide vb. komşu organlarla farklı pozisyonlara ve benzer yoğunluk değerlerine sahip olması bölütleme işleminin uygulanmasını zorlaştıran sebeplerdir. Şekil 2'de karaciğer bölütlemelerinde karşılaşılan zorluklara örnekler gösterilmektedir. Şekil 2 (a)'da mide ile karaciğer arasında belirsiz sınır, Şekil 2 (b)'de kalp ile karaciğer arasında belirsiz sınır, Şekil 2 (c)'de tümörlü karaciğer, Şekil 2 (c,d)'de ise değişken karaciğer şekli görülmektedir. Bu görüntüler üzerinde bölütleme işlemini yüksek doğrulukla yapabilmek oldukça zordur. Buna benzer bölütleme problemleri için uygun yöntemin belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde görüntü bölütleme alanında kullanılan birçok algoritma bulunmaktadır [21]. Bu çalışma için geliştirilen uygulama yazılımında bölütleme işlemi için RG ve FCM yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 2. BT görüntülerinde karaciğerin bölütlemesi aşamasında karşılaşılabilecek zorluklar

3.1. Bölge Büyütme (Region Growing)

Görüntü bölütleme için yaygın olarak kullanılan algoritmalarından birisi Bölge Büyütme algoritmasıdır [28]. Bölge büyütme (RG) algoritması, büyüme için önceden belirlenmiş bazı ölçütleri esas alarak pikselleri veya alt bölgeleri daha büyük bölgelere gruplayarak işlemi yürütür. Buradaki asıl yaklaşım, tohum noktası (seed point) ile başlamaktadır. Bu noktadan itibaren seçilen tohuma benzer özelliklere sahip olan komşu piksellerin eklenmesiyle bölge büyür. Bölgedeki piksellerin benzerlik oranı ne kadar fazla olursa dağılımda o denli düzgün bir yapıya sahip olur. Bu dağılım ister gri seviye olsun ister renkli seviye farklı görüntü türleri içinde geçerlidir. RG algoritmanın akış diyagramı Şekil 3'te sunulmuştur.

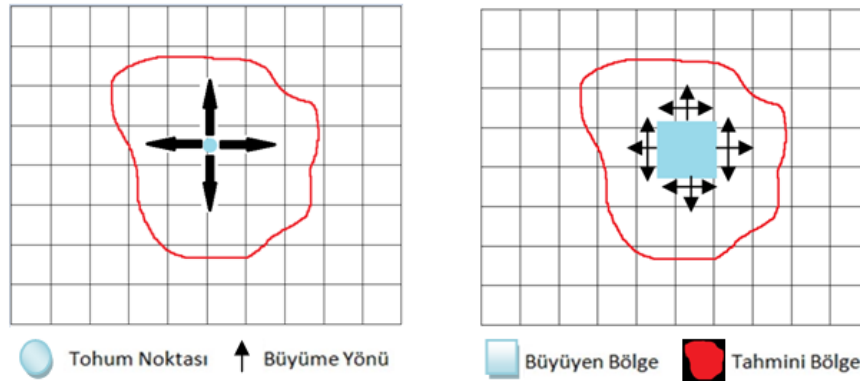


Şekil 3. RG algoritmasının akış diyagramı

RG yöntemleri genellikle aynı özellikleri barındıran bölgeleri doğru bir şekilde ayırdığı için çok iyi bölütlemeler sağlamaktadır. Burada dikkat edilecek bir husus ise tohum noktasının seçimidir. Burada karaciğer bölgesinin bölütlemesi yapılacağı için, tohum noktasının karaciğerin olduğu herhangi bir pikselden başlatılması gerekmektedir. Eğer seçim ilgili alanın dışında bir yerde yapılırsa ortaya çıkan

bölütleme de yanlış olacaktır. Birçok RG algoritmasında tohum noktası seçimi işlemi yarı otomatik yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu işlemin tam otomatik olarak gerçekleşebilmesi için ilgili alanın merkezi belirlenip bu noktanın koordinatlarının RG algoritmasının tohum noktası olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu önemli özelliklerinden dolayı bu çalışmada RG algoritması tercih edilmiştir.

Bölge büyütme algoritması adında anlaşılacağı üzere seçilen bölgenin büyütülmesi şeklinde çalışan bir yapıya sahiptir. Burada kullanıcı tarafından bir tohum noktası seçimi yapıldıktan sonra komşu piksellerin eklenmesi ile bölge büyümeye başlar. Bölgenin nereye doğru büyüyeceği ve ne kadar büyüyeceği gibi sorulara cevap verebilmek için bu pikseller için belirlenen benzerlik kıstasına bakılır. İki görüntü arasındaki benzerlik kıstası için kullanılan eşik (threshold) değeri için literatürde bulunan çalışmalar referans alınmıştır [24, 29]. Yapılan deneysel çalışmalar ve analizlerde en uygun eşik değeri 0.065 olarak belirlenmiştir. Eğer komşu piksellerin sahip olduğu değer bu kıstasın içinde ise bölge kümesine dâhil edilir. Aksi durumda bölge kümesine dâhil edilmez. Komşu pikseller için belirlenen bu kıstas değer aralığında kalan piksel kalmadığı durumlarda ise algoritma sınırlara ulaşmış olur ve bölge büyümesi sonlandırılır. Şekil 4'te bölge büyütme süreci gösterilmiştir.

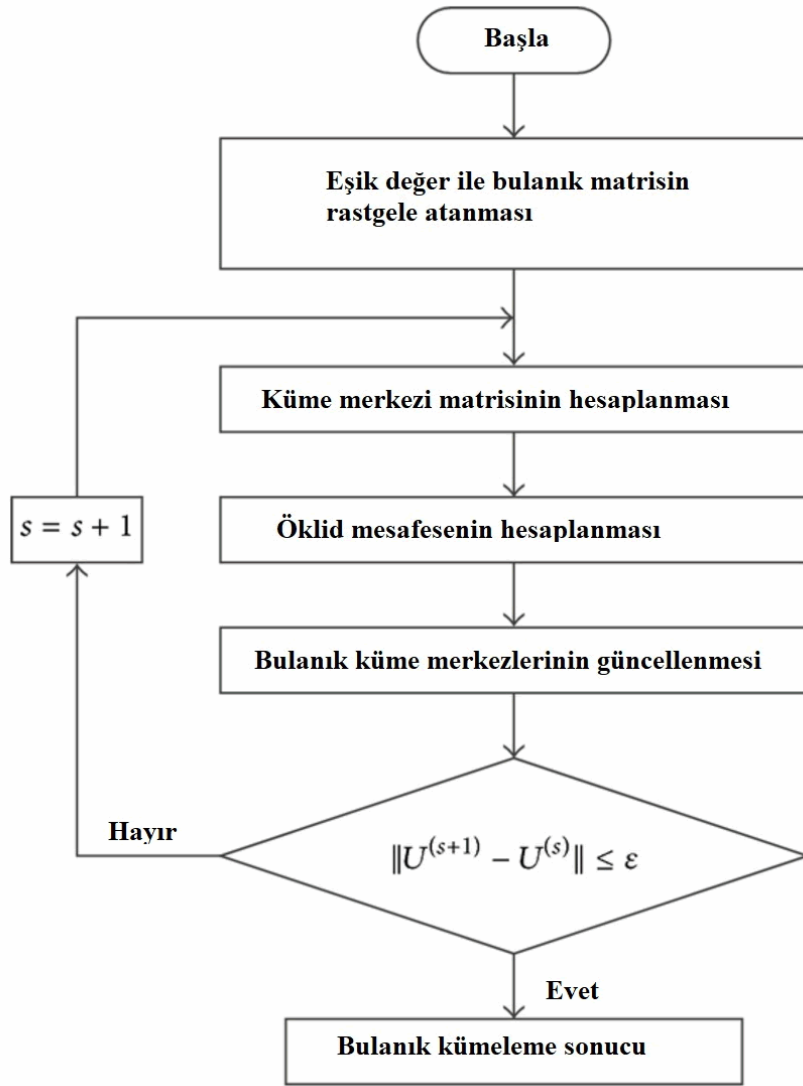


Şekil 4. RG algoritmasında bölge büyütme süreci

3.2. Bulanık C-Ortalamaları (Fuzzy C-Means)

Bulanık C-ortalamaları (FCM) algoritması kümeleme ve sınıflama işlemlerinde sıkça kullanılan ayırt edici bir kümeleme algoritmasıdır. FCM algoritması; medikal görüntüleme, örüntü algılama, veri madenciliği, biyoinformatik gibi geniş kapsamlı mühendislik ve bilimsel disiplinlerde kullanılan ve görüntü bölütlemeye çok etkili olan danışmansız bir yöntemdir [30]. FCM algoritmasına ait akış diyagramı ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Bulanık kümeleme teknikleri içerisinde en çok kullanılan yöntemlerden biri FCM'dir. Bu algoritmada, görüntü iki veya daha fazla kümeye ayrılarak bölütleme işlemi yapılır [31]. Bulanık mantık prensibi gereği her verinin birer üyelik değeri bulunmaktadır. Her veriye 0 ile 1 arasında bir üyelik değeri atanmaktadır. Bu verilerin her sınıfa ait bir üyelik değeri bulunur ve bu sınıflara ait üyelik değerlerinin toplamı alındığında bu değer her zaman "1" olmalıdır. Veri bir kümenin merkezine yaklaştıkça o kümeye ait üyelik değeri artmaktadır. Bu durumda üyelik değeri büyük olan verinin o kümenin merkezine daha yakın olduğunu göstermektedir. FCM'nin işlem adımları aşağıda listelenmiştir.

- i. Üyelik matrisi tanımlanır ve matraste dahil edilen her birime (eleman) üyelik değeri atanır.
- ii. Üyelik değerlerini atadıktan sonra, her küme için merkez vektörleri hesaplanır.
- iii. Hesaplanan kümeleme merkezleri değerleri ile hesaplanan yeni değerlere göre yeni üyelik değerleri ve kümeleri bulunur.



Şekil 5. FCM algoritmasının akış diyagramı

4. GELİŞTİRİLEN UYGULAMA VE DENEYSSEL ÇALIŞMALAR (DEVELOPED APPLICATION AND EXPERIMENTAL RESULTS)

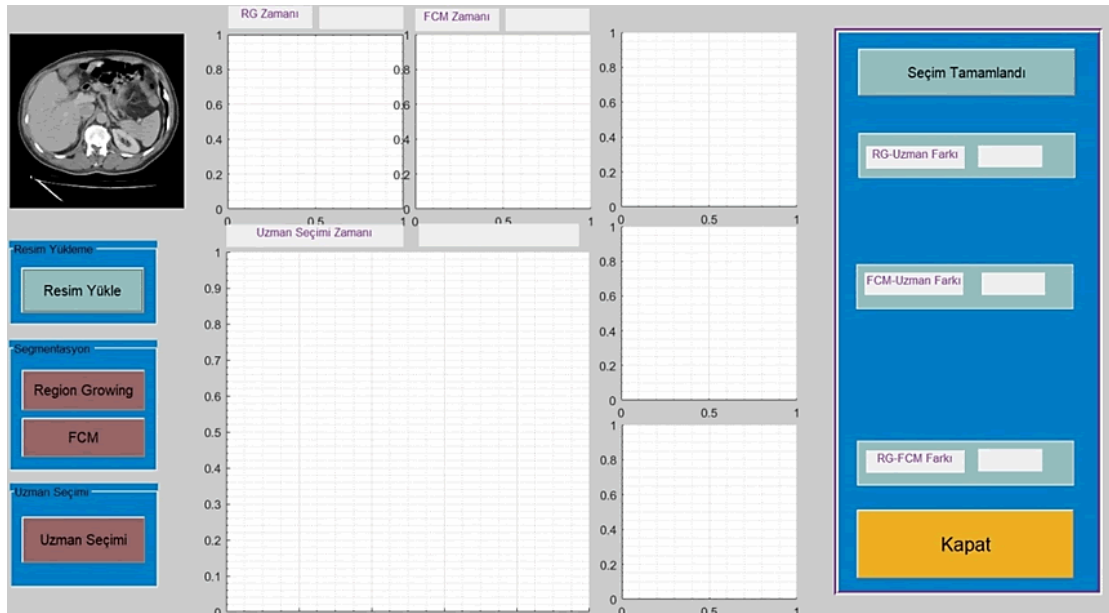
Bu çalışmadaki tüm işlemler ve deneysel çalışmalar MATLAB programında geliştirilen uygulama yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki deneysel çalışmalar 16 GB bellek, 2.70 GHz i7 işlemci donanımı ve Windows 10 işletim sistemine sahip kişisel bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, karın BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölütleneceği için, tohum noktasının karaciğerin olduğu herhangi bir pikselden başlatılması gerekmektedir. Eğer seçim ilgili alanın dışında bir yerde yapılırsa ortaya çıkan bölütleme de yanlış olacaktır. Bu nedenle, RG algoritmasında tohum noktası seçimi işlemi yarı otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. RG algoritmasında, iki görüntü arasındaki benzerlik kıstası için kullanılan eşik değeri yapılan deneysel çalışmalar ve analizlerde en uygun 0.065 olarak belirlenmiştir.

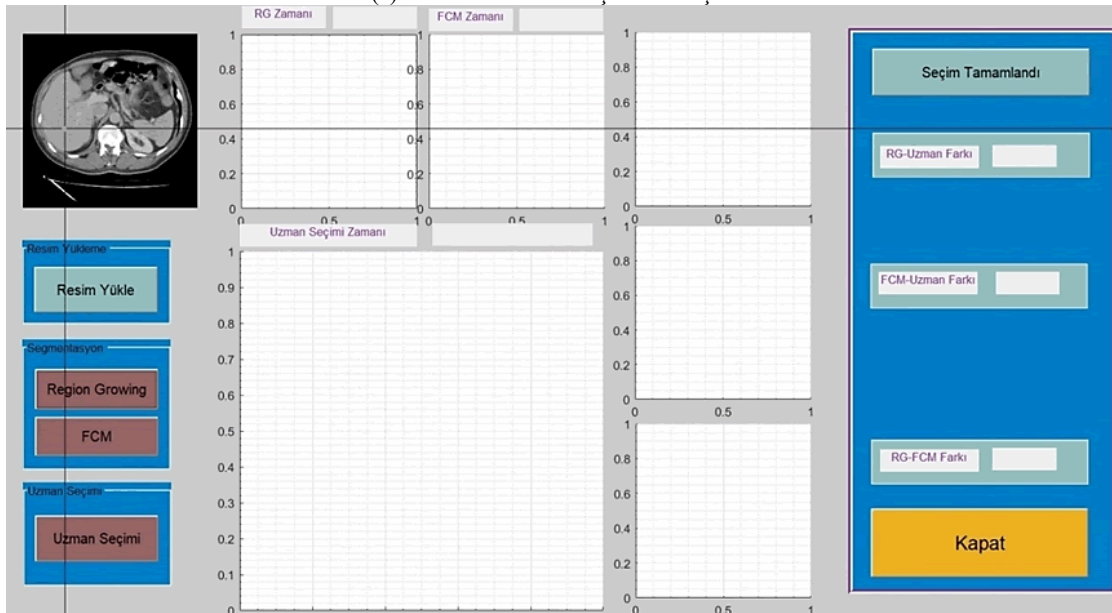
FCM kümeleme algoritmasında küme sayısı karaciğer bölgesi ve diğer kısımlar olmak üzere 2 olarak belirlenmiştir. FCM' de, her bir kümenin merkezi alındıktan sonra, her bir verinin hangi kümeye ait olacağını gösteren üyelik fonksiyonları, sırasıyla tam üyeliği ve üyelik olmadığını gösteren 1 ve 0 değerleri arasında ayarlanmıştır. FCM algoritmasında iterasyon sayısı 100 olarak alınmış olup, her iterasyonda en iyi çözüm için kümelerin konumları minimize edilmektedir. Her bir iterasyonda minimum ilerleme değeri $1e-5$ alınmıştır.

4.1. Geliştirilen Uygulama Yazılımı (Developed Application)

Bu çalışmada için geliştirilen uygulama yazılımında, karın BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölgesinin bölütlemesi için RG ve FCM yöntemleri ile bölütlemesi yapılmıştır. Daha sonra bölütleme sonuçları ile uzman seçim sonucu karşılaştırılmıştır. Geliştirilen uygulama yazılımının ana form ekranı Şekil 6'da gösterilmiştir. Uygulama yazılımının ana form ekranında da görüleceği üzere, yüklenen BT görüntüsünün RG ve FCM algoritmaları ile bölütlenmesi için ayrı kısımlar bulunmaktadır. Ayrıca uzman seçimi ile algoritmalarının sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için uzmanın BT görüntüsü üzerinde karaciğer bölgesini seçim yapıp bölütleyebileceği bir modül de bulunmaktadır. Uygulama yazılımı ile görüntü bölütleme aşaması için ilk işlem bir BT görüntüsünün yüklenmesidir. Şekil 6 (a)'de karın bölgesinden alınmış bir BT görüntüsünün FCM algoritması ile işleme alınma ekranı gösterilmiştir. Şekil 6 (b)'de ise görüntünün bölütlenmesi için RG algoritması ile başlangıç/tohum noktası seçimi gösterilmektedir. Başlangıç noktasının doğru bir şekilde seçilmesi ile RG algoritması hızlı ve doğru bir şekilde bölütleme yapılabilir.



(a) FCM ile bölütleme işlemine başlama

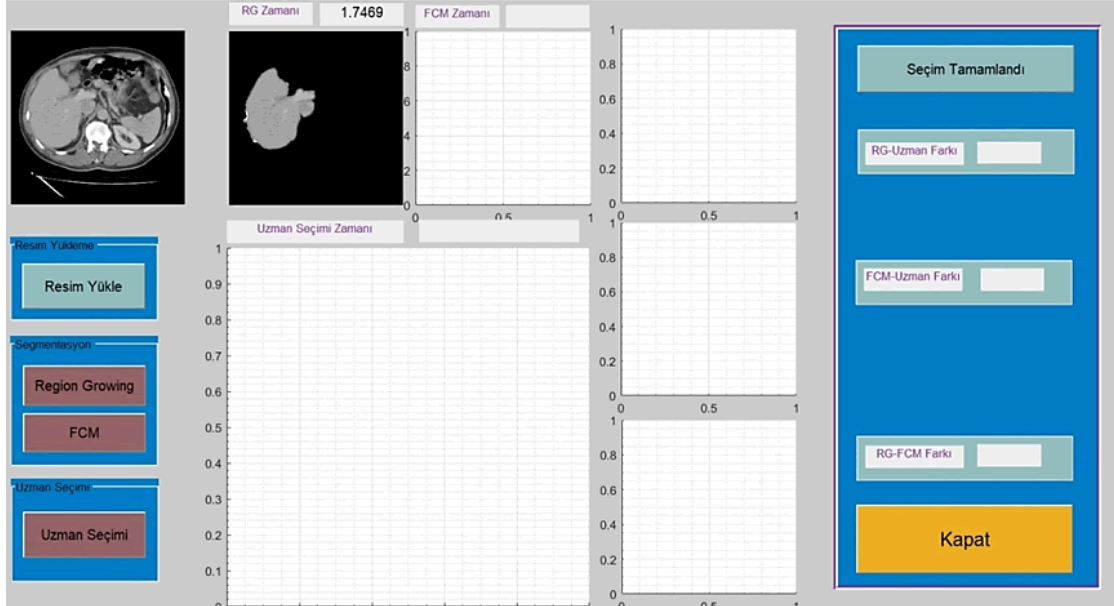


(b) RG ile bölütleme işlemine başlama

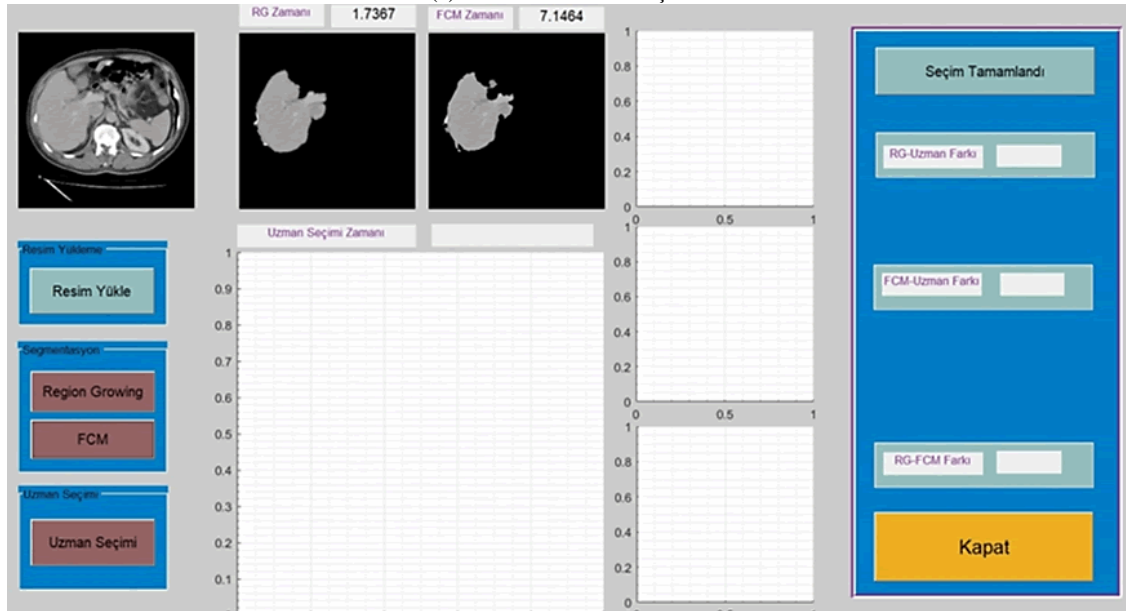
Şekil 6. Geliştirilen uygulama yazılımı ana form ekranı ve BT görüntüsü yükleme

Şekil 7 (a)'da FCM algoritması ile yapılan bölütleme ve işlem süresi yer almaktadır. FCM kümeleme algoritması ile görüntü iki veya daha fazla kümeye ayrılabilir. Bu çalışmada ise görüntü karaciğer

bölgesi ve karaciğer bölgesi dışındaki alan olmak üzere iki kümeye ayrılmıştır. RG algoritması ile başlangıç noktası seçildikten sonra, bölge büyütme süreci belirlediğimiz eşik değere göre büyümeye başlamakta ve sınır değerlerine ulaştığında ise algoritma çalışmasını sonlandırmaktadır. RG algoritmasına ait bölütleme sonucu ve algoritmanın çalışması sırasında harcanan zaman saniye cinsinden Şekil 7 (b)'de gösterilmiştir. Buradan, FCM algoritması RG algoritmasına göre çalışma süresi daha uzun olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin FCM'nin RG gibi bir noktadan başlayarak bir alanı taramak yerine tüm görüntüyü tarayacak şekilde çalışmasının da etkili olduğu düşünülmektedir.



(a) FCM ile bölütleme işlemi

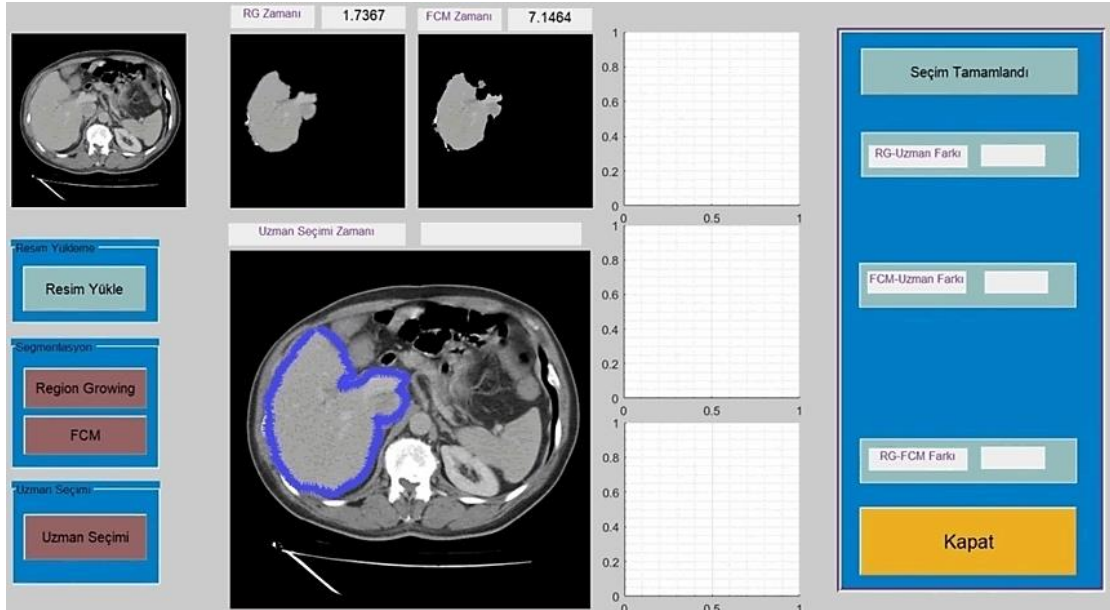


(b) RG ile bölütleme işlemi

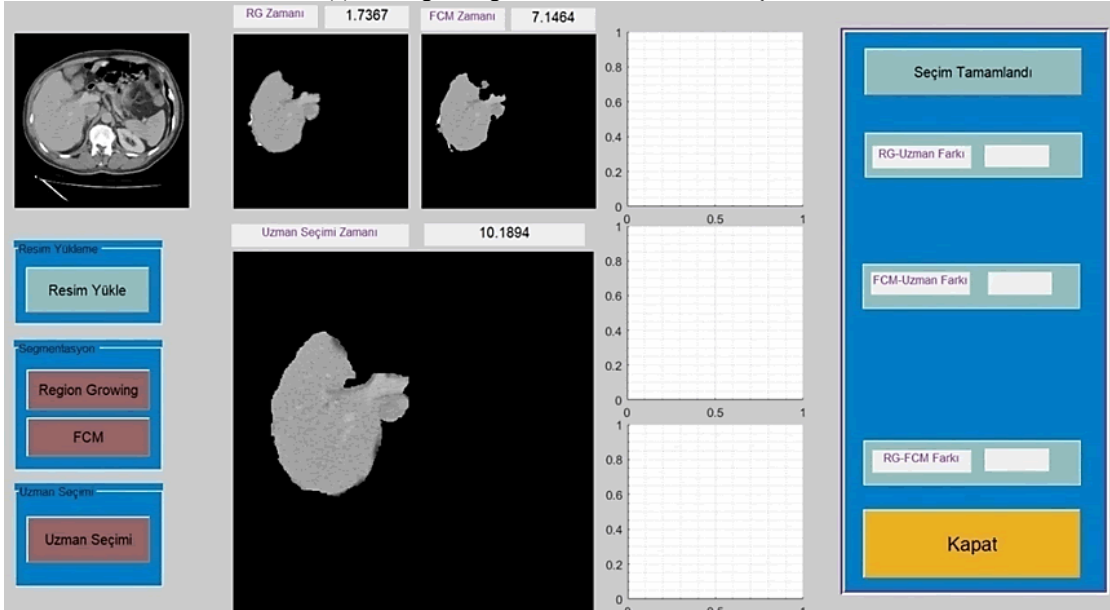
Şekil 7. Uygulama yazılımı üzerinde FCM ve RG algoritmaları bölütleme sonuçları ve işlem süreleri

RG ve FCM algoritmaları ile yapılan bölütleme sonuçlarının başarımını test edebilmek amacı ile uzman seçimine ihtiyaç duyulmaktadır. Uzman, uygulama yazılımı üzerinde karın BT görüntüsü üzerinde karaciğerin yerini başarı ile çıkarabilmektedir. Uzmana yardımcı olması amacı ile geliştirilen uygulama yazılımının ise uzman başarımına ne ölçüde benzerlik sağladığı tespit edilmektedir. Şekil 8 (a)'da uygulama yazılımı ile BT görüntüsü üzerinde karaciğer bölgesinin bir uzman tarafından seçimi gösterilmiştir. Uzman seçimi butonuna tıklandıktan sonra yükleme bölümündeki BT görüntüsü uzmana kolaylık olması için büyütülerek ekrana gelmektedir. Fare yardımı ile uzman seçim işlemi yapılmakta ve işlem sonunda

işaretlenen alanın içindeki bir noktaya çift tıklanarak seçim işlemi tamamlanmaktadır. İşlem tamamlandıktan sonra BT görüntüsü üzerinde seçilen bölüm ile işlem için harcanan zamanda Şekil 8 (b)'de gösterilmektedir.



(a) Karaciğer bölgesinin uzman tarafından seçimi

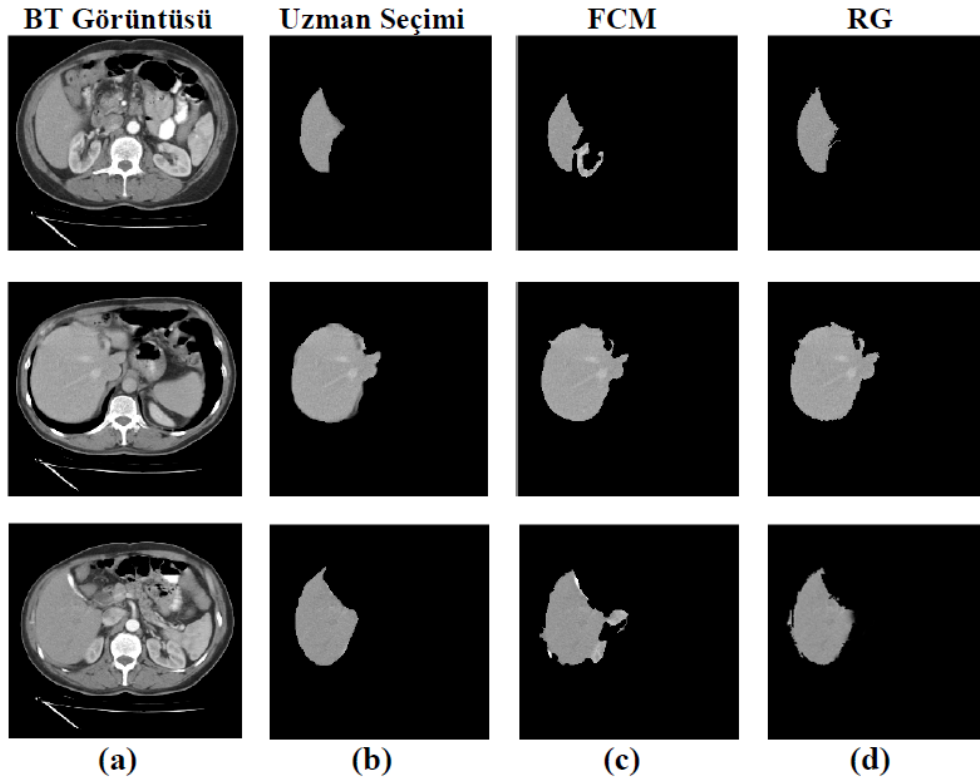


(b) Uzman seçiminin tamamlanması

Şekil 8. Uygulama yazılımı ekranında uzman seçimi ve işlem süresi

4.2. Deneysel Çalışmalar (Experimental Results)

Karın BT görüntüleri üzerinde geliştirilen uygulama yazılımı kullanılarak uzman seçimi ile RG ve FCM yöntemlerinin bölütleme sonuçlarının karşılaştırıldığı bu çalışmada, Şekil 9'de görüntü verisetindeki bazı görüntülere ait bölütleme sonuçları gösterilmiştir. Şekil 9 (a)'da orijinal BT görüntüsü, Şekil 9 (b)'de BT görüntüsünün uzman tarafından çizilmiş hali, Şekil 9 (c)'de FCM yöntemi ile yapılan bölütleme işleminin sonucu ve Şekil 9 (d)'de ise RG yöntemi ile elde edilen bölütleme işlemi sonucu gösterilmektedir. FCM yöntemi karaciğer bölgesi dışında kalan bazı alanları da bölütlenen bölgeye eklediği için RG yöntemine göre uzman seçimini ölçüt olarak aldığımız da daha başarısız bir durumda olduğu görülmektedir. Karaciğere ait olmayan bir bölümünde FCM yöntemi ile dahil edilmesinden dolayı sınıflandırma işleminde hataya sebep olmaktadır. Buna ek olarak işlem süresini de uzatmaktadır.



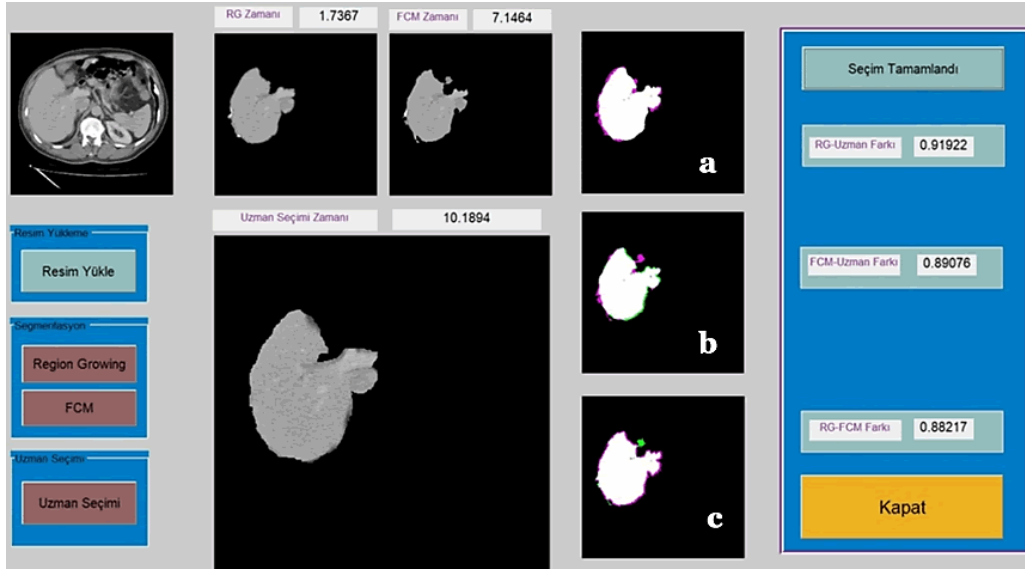
Şekil 9. BT görüntüleri üzerinde Uzman-FCM-RG bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması

Karın BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölgesinin RG ve FCM yöntemleri ile bölütlenmesi ve bu sonuçların uzman görüşü ile Jaccard [32] benzerlik formülü kullanılarak bölütleme işlemi sonuçlarındaki benzerlikler ölçülmüştür. Aynı zamanda uzman seçimi, RG ve FCM yöntemlerinin ne kadar sürede işlemi tamamladığı gibi performans ölçümleri de yapılmıştır. Bölütleme yöntemleri X ile gösterilir ve uzman seçimi ise Y ile gösterilirse o zaman Jaccard benzerlik formülünü gösteren eşitliği Eşitlik (1)' deki gibi gösterilebilir.

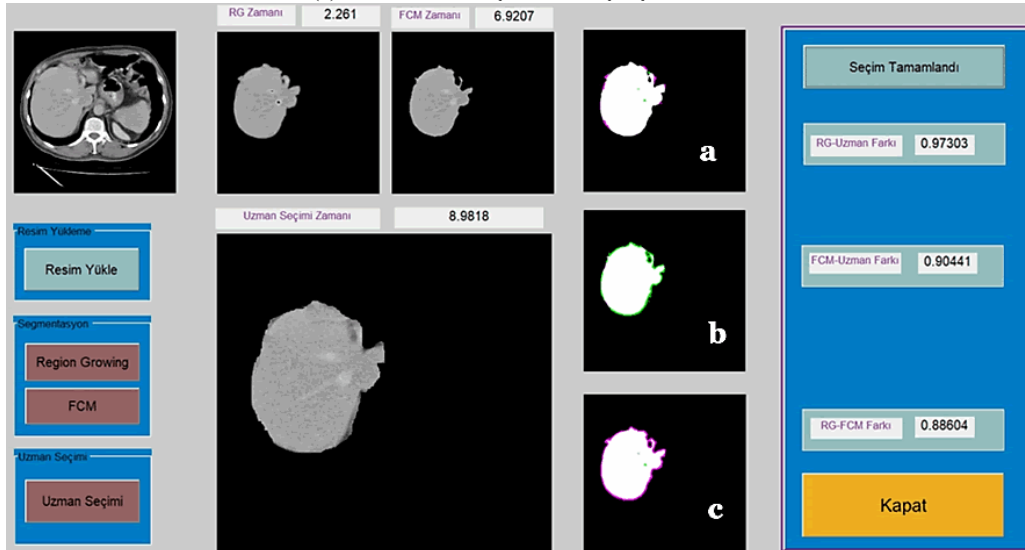
$$J(X, Y) = \frac{|X \cap Y|}{|X \cup Y|} \quad (1)$$

Şekil 10'da RG ve FCM yöntemlerinin bölütleme sonuçları ile uzman seçim sonucunun Jaccard benzerlik formülü ile karşılaştırılma sonucu gösterilmektedir. Şekil 13 üzerinde (a) bölümünde RG ile uzman seçimi arasındaki fark, (b) bölümünde FCM ile uzman seçimi arasındaki fark, (c) bölümünde ise RG ile FCM arasındaki fark ve karşılaştırmaları gösterilmiştir. Görüntüde yer alan beyaz renkler karşılaştırmadaki ortak alanı ifade ederken, mor renk sadece birinci görüntüde olan kısmı, yeşil renk ise sadece ikinci görüntüde olan kısmı ifade etmektedir.

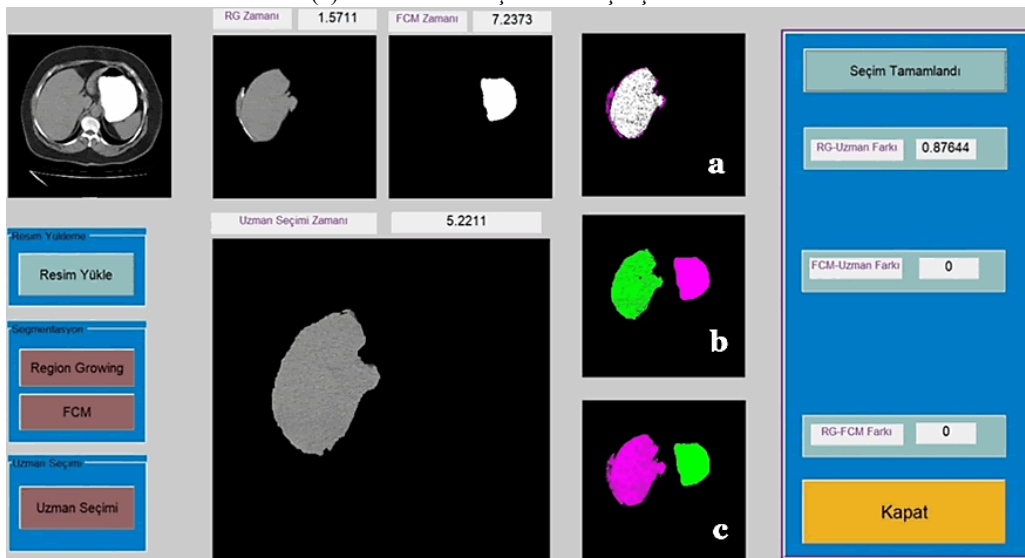
Şekil 10 (a)'da uygulama yazılımı üzerinde karşılaştırma sonuçlarına ait RG algoritmasının daha başarılı olduğu bir bölütleme sonucu gösterilmektedir. Bununla birlikte benzerlik oranlarına bakıldığında, RG için %91.9 ve FCM için %89.1 değerleri ile bu görüntü için iki algoritmanın yakın performans gösterdiği görülmektedir. Şekil 10 (b)'de yine karşılaştırma sonuçlarına ait görüntüde RG algoritmasının başarı oranının yüksek olduğu bir sonuç gösterilmiştir. Burada RG ile uzman seçimi arasında %97.3 oranında yüksek oranda benzerlik görülmektedir. Şekil 10 (c)'de FCM algoritmasının yanlış kümeleme yaptığını gösteren deneysel bir çalışmanın sonucu görülmektedir. Burada da görüleceği üzere FCM algoritması BT görüntüsü üzerinde karaciğer yerine başka bir bölgenin bölütlenmesini gerçekleştirmiştir.



(a) Bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması



(b) Bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması



(c) Bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 10. RG ve FCM algoritması ile uzman seçimi bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması

Verisetinde yer alan 88 Karaciğer BT görüntü üzerinde yapılan çalışmalarda RG yöntemi ile bulunan sonuçlarda Jaccard benzerlik ölçütüne göre ortalama %91.15 benzerlik oranı elde edilmiştir. Bu durum FCM yöntemine göre bakıldığında ise %75.16 olarak bulunmuştur. Ayrıca, çalışmada yer alan iki algoritmanın işlem süreleri saniye cinsinden karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlara göre ise RG algoritmasının daha kısa sürede sonuca ulaştığı için zaman kriterine göre daha iyi performans gösterdiği yorumu yapılabilir. Hesaplama sürelerinde 88 BT görüntüsü için RG ortalama 3.15 saniye ile ortalama 7.50 saniye olarak ölçülen FCM algoritmasına göre zaman kriterinde RG algoritmasının daha başarılı olduğu görülmüştür.

Bu deneysel çalışmalara göre RG algoritması ile yapılan bölütlemelerin hem benzerlik oranları bakımından hem de daha hızlı bir işlem süresine sahip olması bakımından FCM algoritmasından daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu durum anlamlılık testleri yardımıyla geliştirilen yazılımda bulunan bölütleme sonuçlarının anlamlılığının değerlendirilmesi ile doğrulanmıştır. Bu amaçla 25 BT görüntüsünün RG ve FCM algoritmaları ile elde edilen benzerlik oranlarının Tablo 1'deki gibi istatistiksel değerlendirme yapılmıştır.

Veriler programa girildikten sonra verisetinde uç değer kontrolü yapılmıştır. Yapılan kontrol sonucunda oluşan uçdeğerler veri setinden çıkarılmıştır. Sonuç olarak normallik koşulu sağlanmadığı için parametrik olmayan testlerden Mann-Whitney U Testinin uygulanması gerekmektedir. Bu test, bağımsız örneklem için uygulanan T testinin parametrik olmayan halidir. Mann-Whitney U Testi sonucuna göre p değeri 0.44 olarak bulunmuştur. Bu durumda benzerlikler arasındaki farkın seçilen yönteme göre anlamlı bir fark olduğu ve RG algoritmasının FCM'ye göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bir diğer durumda ise sıra toplam ve sıra ortalama değerlerinde RG algoritmasının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu veriden, RG algoritmasının benzerlik açısından FCM algoritmasına göre daha başarılı bir sonuç ürettiği çıkarılabilir.

Tablo 1. BT Görüntüleri benzerlik oranları ve işlem süreleri

Sıra	BT Görüntü ID	RG	FCM	RG-(t)	FCM-(t)
1	150	0,904	0,892	1,768	7,555
2	152	0,925	0,91	2,031	7,389
3	153	0,868	0,856	1,788	7,323
4	179	0,973	0,904	2,261	6,92
5	181	0,895	0,913	2,587	8,685
6	182	0,926	0,893	1,852	6,715
7	183	0,819	0,804	1,988	7,094
8	186	0,829	0,792	2,028	9,803
9	213	0,909	0,895	1,595	4,698
10	216	0,852	0,827	1,435	7,198
11	10	0,929	0,664	5,343	7,841
12	21	0,886	0,863	2,393	6,184
13	57	0,87	0,842	2,466	8,243
14	58	0,847	0,815	2,07	4,709
15	12	0,847	0,809	2,42	6,043
16	218	0,86	0,423	1,679	7,371
17	215	0,886	0,814	2,556	5,273
18	180	0,94	0,911	2,301	6,295
19	184	0,794	0,78	2,62	8,701
20	188	0,797	0,753	2,35	10,995
21	217	0,808	0,788	2,453	7,2
22	214	0,949	0,895	2,837	6,205
23	72	0,944	0,911	1,94	8,527
24	155	0,816	0,788	4,766	13,639
25	151	0,9	0,886	3,098	7,067

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada karın (abdomen) BT görüntüleri üzerinde karaciğerin yerinin tespit edilerek bölütlenmesi için bir uygulama yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama yazılımı ile Bölge Büyütme (RG) ve Bulanık C-Ortalamaları (FCM) yöntemleriyle bölütleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulama yazılımı kullanılarak RG ve FCM algoritmaları ile elde edilen bölütleme sonuçları ile uzman hekim tarafından seçilen karaciğer yerinin benzerlikleri nicel olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda benzerlik oranları RG için % 91.15 ve FCM için %75.16 olarak elde edilen verilere göre RG algoritması, benzerlik oranları dikkate alındığında FCM algoritmasına göre daha başarılı olmuştur. Bunun yanında, elde edilen benzerlik sonuçları için istatistiksel olarak anlamlılık testleri uygulanmıştır. İstatistiksel test sonuçlarına bakıldığında nicel olarak RG algoritmasının, FCM algoritmasından daha başarılı olduğu durumunun, nitel olarak da anlamlı bir fark gösterdiği görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen BDT sisteminin, uzmanların karar alma sürecine katkı sağlayacak ve işlem süresini azaltarak iş yükünü hafifletecek yardımcı bir araç olarak kullanılması öngörülmektedir.

Çalışmada bölütleme benzerlik ölçütü dışında yer alan bir diğer performans kriteri olarak ise hesaplama süreleri değerlendirilmiştir. Hesaplama sürelerinde, RG ve FCM algoritmalarının her bir görüntü için ortalama bölütleme sonuçları kıyaslanmıştır. Hesaplama sürelerinde 88 BT görüntüsü için RG ortalama 3.15 saniye ile ortalama 7.50 saniye olarak ölçülen FCM algoritmasına göre zaman kriterinde RG algoritmasının daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada önerilen BDT uygulamasının karın BT görüntüleri üzerinde karaciğerin yerinin belirlenmesinde işlemleri hızlandığı ve kişisel bazlı öznel olarak oluşan hataların önüne geçmede rol oynayabileceği değerlendirilmektedir. Buna ek olarak, önerilen BDT sisteminin uzmanların karar alma sürecinde yararlanabilecekleri ikincil bir araç olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmada kullanılan BT görüntüleri Dr. Nafiz Körez Sincan Devlet Hastanesinin Radyoloji bölümünden alınmıştır. Katkılarından ve verileri sağlamasından dolayı Dr. Nafiz Körez Sincan Devlet Hastanesine teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] D. Pescia, Segmentation of liver tumors on CT images, Ecole Centrale de Paris, MAS laboratory, 2011.
- [2] Z. Ekşi, E. Dandil, M. Çakıroğlu, Computer-aided bone fracture detection, 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU'12), Fethiye, Turkey, 18-20 April, 2012.
- [3] S. Gül, G. Çetinel, Meme Manyetik Rezonans Görüntüleme Lezyon Sınırlarının ve Alanının Tespit Edilmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22:1(2018) 108-127.
- [4] X. Lu, The study and application of the improved region growing algorithm for liver segmentation, School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baoto, 2013.
- [5] K. S. Seo, Improved fully automatic liver segmentation using histogram tail threshold algorithms, ICCS 2005, pp. 822-825, 2005.
- [6] K. Yokoyama, T. Kitasaka, K. Mori, Y. Mekada, J. L. Hasegawa, J.L. Toriwaki, Liver region extraction from 3D abdominal X-ray CT images using distribution features of abdominal organs, Journal of Computer Aided Diagnosis of Medical Images, 7:4-3(2003) 48-58.
- [7] O. Toshiyuki, S. Ryuji, H. Masatoshi, N. Masahiko, W. C. Yen, N. Hironobu, S. Yoshinobu, Automated Segmentation of the Liver from 3D CT Images Using Probabilistic Atlas and Multilevel Statistical Shape Model, Academic Radiology, 15:11(2008) 1390-1403.

- [8] X. Zhou, T. Kitagawa, K. Okuo, T. Hara, H. Fujita, R. Yokoyama, M. Kanematsu, H. Hoshi, Construction of a probabilistic atlas for automated liver segmentation in non-contrast torso CT images, *International Congress Series*, 1281, pp.1169-1174, 2005.
- [9] S. Pan, B. M. Dawant, Automatic 3D segmentation of the liver from abdominal CT images: a level-set approach, *Medical Imaging 2001: San Diego, CA, USA*, pp. 128-138, 2001.
- [10] J. Lee, N. Kim, H. Lee, J. B. Seo, H. J. Won, Y. M. Shin, Y. G. Shin, S. H. Kim, Efficient liver segmentation using a level-set method with optimal detection of the initial liver boundary from level-set speed images, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 88:1(2007) 26-38.
- [11] G. Bekes, L.G. Ny'ul, E.M'at'e, A. Kuba, M. Fidrich, 3D segmentation of liver, kidneys and spleen from CT images, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2:1(2007) 45–46.
- [12] F. Liu, B. Zhao, P. K. Kijewski, L. Wang, L. H. Schwartz, Liver segmentation for CT images using GVF snake, *Medical Physics*, 32:12(2005)3699-3706.
- [13] S. Huang, B. Wang, X. Huang, Using GVF Snake to Segment Liver from CT Images, *International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors, MIT, Boston, IEEE-EMBS*, pp. 145-148, 2006.
- [14] J.-S. Hong , T. K. R. Sekiguchi, K.-H. Park, Computer-aided Diagnostic System Based on Liver CT image, *MVA2000 IAPR, Workshop on Machine Vision Applications*, pp. 419-422, 2000.
- [15] S. S. Kumar, R. S. Moni, J. Rajeesh, An automatic computer-aided diagnosis system for liver tumours on computed tomography images, *Computers and Electrical Engineering*, 39(2013)1516-1526.
- [16] Y. Häme, M. Pollari, Semi-automatic liver tumor segmentation with hidden markov measure field model and non-parametric distribution estimation, *Medical Image Analysis*, 16(2012)140-149.
- [17] A. Militzer, et al., Automatic detection and segmentation of focal liver lesions in contrast enhanced CT images, *IEEE 2010 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2010.
- [18] M. Ciecholewski, Automatic liver segmentation from 2D CT images using an approximate contour model, *Journal of Signal Processing Systems*, 74:2(2014)151-174.
- [19] C. Shi, Y. Cheng, F. Liu, Y. Wang, J. Bai, S. Tamura,. A hierarchical local region-based sparse shape composition for liver segmentation in CT scans. *Pattern Recognition*, 50:(2016) 88-106.
- [20] M. Liao, Y. Q. Zhao, X. Y. Liu, Y. Z. Zeng, B. J. Zou, X. F. Wang, F. Y. Shih, Automatic liver segmentation from abdominal CT volumes using graph cuts and border marching. *Computer methods and programs in biomedicine*, 143:(2017) 1-12.
- [21] Q. Huang, H. Ding, X.Wang, G. Wang, Fully automatic liver segmentation in CT images using modified graph cuts and feature detection. *Computers in biology and medicine*, 95: (2018)198-208.
- [22] A. M. Anter, A. E. Hassenian, CT liver tumor segmentation hybrid approach using neutrosophic sets, fast fuzzy c-means and adaptive watershed algorithm. *Artificial intelligence in medicine*, 97:(2019) 105-117.
- [23] Z. Liu, Y. Q. Song, V. S. Sheng, L.Wang, R. Jiang, X. Zhang, D. Yuan, Liver CT sequence segmentation based with improved U-Net and graph cut. *Expert Systems with Applications*, 126:(2019) 54-63.
- [24] X. Lu, J. Wu, X. Ren, B. Zhang, Y. Li, The study and application of the improved region growing algorithm for liver segmentation. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 125(9):(2014) 2142-2147.

- [25] A. Gotra, L. Sivakumaran, G. Chartrand, K. N. Vu, F. Vandenbroucke-Menu, C. Kauffmann, A. Tang., Liver segmentation: indications, techniques and future directions. *Insights into imaging*, 8(4):(2017) 377-392.
- [26] R. Gonzalez, R.E. Woods, S.L. Eddins, *Digital Image Processing Using Matlab*, Prentice Hall, USA, 2004.
- [27] S. Öztürk, N. Öztürk, Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanılarak Görüntü İyileştirme Yönteminin Geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C*, 4:4(2016)173-183.
- [28] D. Sönmezer, Counting mitosis with region growing method on histopathological images, Master Thesis, Erciyes University, 2012.
- [29] O. F. Abd-Elaziz, M. S. Sayed, M. I. Abdullah, (2014, April). Liver tumors segmentation from abdominal CT images using region growing and morphological processing. *IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, pp. 1-6, 2014.
- [30] R. Suganya, R. Shanthi, Fuzzy C-Means Algorithm- A Review, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2:11(2012).
- [31] R. Kruse, C. Borgelt, D. Nauck, Fuzzy Data Analysis: Challenges and Perspectives, *IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems 1999 (FUZZIEEE99)*, Seoul, pp. 1211-1216, 1999.
- [32] P. Jaccard, The distribution of the flora in the alpine zone, *NewPhytologist*, 11:2(1912) 37-50.

An Analysis on Vibration Effects of Dry Type Transformers Operating Under Nonlinear Load Conditions

 Funda BATTAL^{1,*} İbrahim SEFA² Selami BALCI³
¹ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Hacıbektaş MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 50800, Hacıbektaş/NEVŞEHİR

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, ANKARA

³ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 70200, KARAMAN

Graphical/Tabular Abstract

The use of non-linear loads in transformers leads to increased losses, heat and more vibration and noise are generated. Vibrations should be investigated because they cause to decrease the nominal values of the transformer and its service life. Figure A shows the variation of core vibration with respect to these harmonic components with current harmonic components of linear load, 3-phase and 1-phase rectifier, respectively.

Article Info:

Received: 21/06/2019

Revision: 23/08/2019

Accepted: 29/08/2019

Highlights

- A dry-type isolation transformer
- THD and nonlinear loads
- Transformer core vibration and effects of harmonics on the amplitude of the vibration frequency

Keywords

Transformer Core
 Vibration
 Non-linear Load
 Total Harmonic Distortion
 Finite Element Analysis

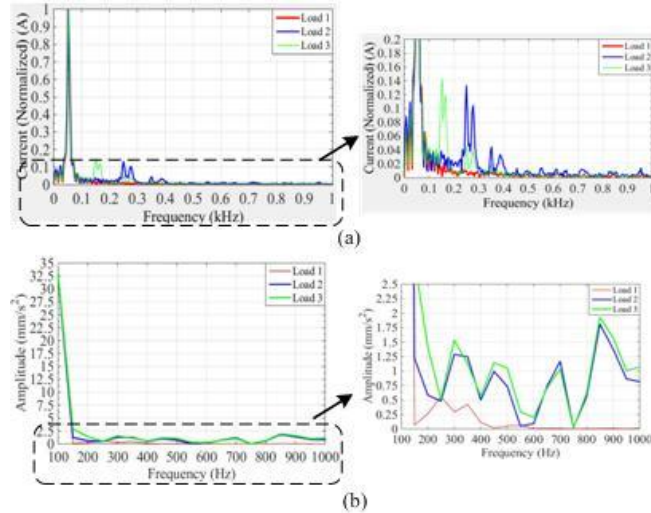


Figure A. Signals obtained according to load condition a) current harmonic spectrum, b) axial acceleration harmonic spectrum

Purpose: It is aimed to investigate the vibration signals of a dry type isolation transformer core which operates different load conditions.

Theory and Methods: Transformer and loads are modelled and simulated by using ANSYS Maxwell and Simplorer. And then core forces obtained from Maxwell are used as input parameters in ANSYS Mechanical. Finally, vibration signals as harmonic responses are obtained.

Results: Increase in the THD value leads to an increase in the number and amplitude of vibration harmonic components. With the increase in the THD value, the second and third harmonic components of the vibration have increased in amplitude. It has been shown that the increase of the THD value caused by using the 1-phase rectifier leads to only the increase of the peak value amplitude in the radial force frequency spectrum, there is no similar increase in the axial force frequency spectrum.

Conclusion: The increase of the THD value, the fundamental components of the vibration signals in the axial direction the second and third harmonic component amplitudes are increased. Also, the increase in THD value has led to a greater number of regional maximum points depending on the grades of the harmonic currents in the vibration frequency spectrum. Vibration signals must be carefully monitored since vibrations in the axial direction may cause a failure such as core deformation on the transformer.



Doğrusal Olmayan Yük Koşullarında Çalışan Kuru Tip Transformatörlerin Titreşim Etkileri Üzerine Bir Analiz

Funda BATTAL¹, * İbrahim SEFA², Selami BALCI³

¹ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Hacıbektaş MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 50800, Hacıbektaş/NEVŞEHİR

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, ANKARA

³ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 70200, KARAMAN

Öz

Transformatörler genel olarak doğrusal yüklerde çalıştırılmak üzere tasarlanırlar. Ancak son yıllarda doğrusal olmayan yüklerin toplam yük içerisindeki oranının artması ile bu şartlarda çalışabilecek tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Transformatör sargılarından geçen akımların harmonik oranlarının artması ile transformatörün hem sargılarında hem de nüvelerinde daha fazla ısı oluşmakta ve işletme veriminin düşmesine yol açmaktadır. Doğrusal olmayan yüklerin diğer önemli bir etkisi de titreşim genlik değerlerinin büyümesine yol açarak transformatörlerin nüve ve sargılarının servis ömründe azalmaya yol açmalarıdır. Artan titreşim genlikleri ve dereceleri hem gürültü kirliliği oluşturur hem de transformatörün anma değerlerinin değişmesine yol açar. Transformatörlerin arıza teşhis ve koruma fonksiyonlarının tam olarak yapılabilmesi için sadece akım gerilim gibi elektriksel ve termal parametreleri ile değil aynı zamanda titreşim gibi mekanik parametrelerinin de tam ölçülebilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle transformatörlerin titreşim sinyallerinin izlenmesi ve değişen çalışma koşulları altında değişim sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yapılan çalışmada 500kVA anma gücündeki bir yalıtım transformatörünün doğrusal olmayan farklı yük şartları altındaki elektromanyetik analizleri yapılarak nüve kuvvetleri elde edilmiş daha sonra bu değerlere karşılık gelen titreşim değerleri belirlenmiş ve sonuçları rapor edilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: : 21/06/2019

Düzeltilme: 23/08/2019

Kabul: 29/08/2019

Anahtar Kelimeler

Transformatör nüvesi

Titreşim

Doğrusal olmayan yük

Toplam Harmonik

Bozunum

Sonlu Elemanlar Analizi

Keywords

Transformer Core

Vibration

Non-linear Load

Total Harmonic Distortion

Finite Element Analysis

An Analysis on Vibration Effects of Dry Type Transformers Operating Under Nonlinear Load Conditions

Abstract

Transformers are generally designed to operate in linear loads. However, in recent years because of the increase in the percentage of nonlinear loads within general load ratio, designs that can operate in these conditions are needed. Due to the harmonic ratios of currents passing through transformer windings increase, more heat is generated in both of windings and cores of transformer and it leads to decrease of operating efficiency. Another important effect of nonlinear loads is that it leads to an increase in vibration amplitudes, which causes a decrease in life core and windings of transformer. Vibrations in transformers can not only lead to noise pollution, but also they can cause both the nominal values of the transformer to change and the service life to decrease. It is possible to be able to fully conduct fault diagnosis and protection functions of transformers by not only precisely measuring electrical and thermal parameters like current-voltage but also mechanical parameters such as vibration. For this reason, it is necessary to monitor the vibration signals of the transformers and to determine the limits of change under changing operating conditions. For this purpose, in this study, core forces were obtained by performing electromagnetic analysis under nonlinear different load conditions of an insulation transformer at rated power of 500kVA and then vibration values corresponding to these values were determined and the results were reported.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Farklı güç ve gerilim seviyelerindeki enerji sistemlerinin en önemli ve pahalı bileşenlerinden olan transformatörler [1] genel iletim ve dağıtım sistemleri için tasarlanabildikleri gibi medikal cihazlar, şarj

cihazları, şebeke etkileşimli eviriciler ya da kesintisiz güç kaynakları gibi uygulamalarda birimleri birbirinden elektriksel olarak yalıtılmak veya daha yaygın bir ifade ile galvanik izolasyon sağlamak için de sıklıkla kullanılmaktadırlar [2-3]. Transformatörler genellikle doğrusal yüklerde ve belirli bir güç faktöründe çalışmak üzere tasarlanmışlardır. Ancak günümüzde gittikçe artan sayıda kullanılan, anahtarlamalı güç kaynakları, motor sürücüler, gerilim ayarlayıcılar, şarj cihazları gibi yükler harmonik bileşenler içeren akımlar çekmektedirler. Böylelikle, transformatörlerin sargılarından geçen akımların dalga şekilleri de doğrusal olmaktan uzaklaşmaktadır [4]. Sinüzoidal olmayan akımlar çeken bu yükler yüksek dereceli harmonik bileşenlerin ortaya çıkmasına yol açarak transformatörlerde kayıpların artması, nüve ve sargı gibi bileşenlerinde fazladan ısı artışı, rezonans tehlikesinin ortaya çıkması, güç faktöründe kötüleşme ve verimin azalmasının yanında titreşim ve gürültünün artması gibi birçok olumsuz değişime yol açmaktadır [5-6]. Bakım kolaylığı, daha az alan gerektirmesi ve benzeri sebeplerle tercih edilen kuru tip transformatörler, belirli bir gerilim seviyelerine kadar daha çok kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada kuru tip bir izolasyon transformatörünün doğrusal ve doğrusal olmayan yük koşullarına bağlı olarak değişen nüve titreşim değerleri ve yük akım formuna bağlı olan ilişki analiz edilmektedir.

Transformatörler gerek yüksüz gerekse yüklü çalışma durumlarında enerji uygulandığı andan itibaren çeşitli manyeto-mekanik etkilerden dolayı aktif kısımlarında titreşim oluştururlar. Yüksüz çalışmada sargılarda ihmal edilebilecek kadar küçük değerlerde akım dolaşacağı için sargı kuvvetleri oldukça küçük değerlerde olmaktadır. Buna bağlı olarak sargı titreşimi de ihmal edilecek kadar oldukça düşük değerlerde olmaktadır. Bu nedenle yüksüz çalışma durumunda sadece nüvede titreşim görülmektedir. Transformatörlerde nüve titreşiminin temel nedeni nüve malzemesinin manyetik özelliğinden kaynaklanan manyetik büzülme etkisinin varlığıdır. Yüklü durumda ise manyetik büzülme ek olarak sargı akımlarından kaynaklanan elektromanyetik kuvvetler hem nüvedeki titreşimi etkilemekte hem de sargılarda titreşimin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ancak transformatör doğrusal olmayan bir yükü beslerken sargılarda dolaşan akımda temel bileşen haricindeki diğer harmonik bileşenler de görülmeye başlanır. Bu harmonik akımlar genliğine bağlı olarak transformatörün titreşim değerini artırmakta ve transformatörün özellikle mekanik açıdan daha kısa sürede yıpranıp ömrünün azalmasına ya da tamamen devre dışı kalmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle sargı akımındaki harmoniklerden kaynaklanan dalga şekli bozunum seviyesi olan Toplam Harmonik Bozunum (THD) belirlenerek buna göre titreşim sinyalindeki değişimlerin de belirlenmesi gerekmektedir [7-9].

Transformatörlerde meydana gelebilecek herhangi bir mekanik arızanın belirlenmesinde titreşim-tabanlı tanımlama, detaylı bilgi sağlanmasından dolayı yaygın kullanılan metotlardan biridir [10]. Bu nedenle literatürde transformatörlerin titreşim analizlerine yönelik yapılan çalışmalar da gittikçe artmaktadır. Transformatörlerin titreşim analizleri ağırlıklı olarak yüksüz durumdaki nüve titreşimi ya da belirli doğrusal yük seviyelerinde veya kısa devre durumdaki titreşim analizleri şeklindedir. Ancak bu çalışmalar genelde nüve ve/veya sargıların mekanik/gevşeklik durumlarına göre [11-17], bu durumlara ek olarak sargı yalıtım malzemelerinin yıpranma durumlarına göre [19] yapılmaktadır. Yüklü çalışma durumlarında ise genellikle çeşitli seviyelerdeki doğrusal yükler incelemektedir. Ancak günümüzde doğrusal yükler kadar doğrusal olmayan yüklerin kullanımı da gittikçe yaygınlaştığından titreşim analizinde bu yük durumunun da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kaynak [19]' da transformatörler normal ve deformasyon içeren anormal olarak sınıflandırılmış ve her biri için THD değerleri verilmiştir. Anormal durumda olan transformatörlerde yüksek frekanslı harmonik bileşenler, normal sınıflandırılan transformatörlere kıyasla çok daha yüksek çıkmıştır. [20]' de sargı deformasyonlarının belirlenebilmesi için titreşim sinyalinin gerçek ve sanal bileşenleri incelenmiş, güç faktörünün değişmesiyle birlikte titreşimin genliğinde değişme olmadığı ancak titreşimin gerçek ve sanal bileşenlerinde değişme olduğu rapor edilmiştir. [21]' de bir güç transformatöründe çeşitli yapısal problemlere göre titreşim sinyallerinin değişimi incelenmiş, buna ek olarak elektriksel ve mekanik uyarımlardan kaynaklanan titreşim sinyali değişimleri belirlenmiştir.

Transformatörlerde titreşim üzerine yapılan araştırmaların çoğunun sinüzoidal yüklerle çalışmaları içerdiği literatürden görülmektedir. Halbuki, günümüzde doğrusal olmayan bir ve üç fazlı yüklerin genel yük içerisindeki kullanım oranları giderek artmaktadır. Ayrıca, doğrusal olmayan yük akımları, transformatörün doğrusal yüklenme esnasındaki kayıplarının yanında titreşimlerinin de artmasına yol açmaktadır. Artan bu titreşimler, yıpranmayı hızlandırdıkları ve transformatör yapılarında mekanik arızalara yol açabildikleri için hata ve arızalara karşı önceden bilgi edinilmesi ve izlenmesi gereken sinyallerdir. Doğrusal olmayan yükler altında çalışan transformatörlerin titreşim analizine ilişkin olarak düşük dereceli harmonik bileşenlerin de

titreşim üzerindeki etkilerinin rapor edildiği bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada, 3-fazlı şebeke frekanslı 500kVA güç değerindeki kuru tip bir yalıtım transformatorünün farklı yük koşulları altında elektromanyetik modellemesi yapılmış ve bu koşulların nüve kuvveti üzerindeki değişimleri belirlenmiştir. Bu kuvvetlerinin değişimi ve buna bağlı olarak titreşim sinyallerinin değişmesi harmonik tepki analizleri yapılarak araştırılmış ve sonuçları karşılaştırmalı olarak rapor edilmiştir.

2. TRANSFORMATÖRLERDE DOĞRUSAL OLMAYAN YÜKLER (NONLINEAR LOADS IN TRANSFORMERS)

Bir yüke uygulanan gerilim ile yükün çektiği akım arasında doğrusal olmayan bir ilişki bulunduğunda bu yük güç sistemlerinde harmonik akımların ortaya çıkmasına neden olur. Direnç, bobin ve kondansatör gibi yükler doğrusal yüklerdir. Eğer böyle yüklere sinüzoidal gerilim uygulanırsa çekecekleri akım da sinüzoidal olmaktadır. Ancak, günümüz güç sistemlerinde transformatorler, güç elektroniği devrelerini içeren anahtarlamalı güç kaynakları (SMPS), tasarruflu floresan lambalar, ark fırınları, ayarlanabilir hızlı AA ve DA sürücüler, yenilenebilir enerji kaynakları ve yüksek gerilim DA (HVDC) uygulamaları gibi doğrusal olmayan yapıda olan bileşenler, sistem frekansının tam sayı katlarındaki frekans değerlerinde harmoniklerin üretilmesine yol açmaktadırlar [7-9]. Bu yüklerin çektiği harmonikli akımlar, sistem empedansı üzerinde harmonikli gerilimleri oluşturur. Bu harmoniklerin temel etkileri kontrol ve koruma cihazlarının yanlış çalışması, telefon girişimleri, rezonans frekanslarının oluşması, aşırı ısınma, ek gürültü oluşumu, ek hat kayıpları (temel ve harmonik frekanslarda) ve elektrik makineleri gibi şebeke elemanları ile tüketici cihazlarının ömürlerinin azalmasına yol açmasıdır.

Herhangi bir akım/gerilim sinyali Fourier serileri ile ifade edilebilir. Fourier serisindeki her terim, dalga şeklinin harmonik bileşeni olarak adlandırılır. Harmoniklerin frekansları genellikle temel frekansın tam sayı katlarıdır. Bir akım/gerilim sinyali Eşitlik 2.1 ve Eşitlik 2.2' de verildiği gibi tanımlanır:

$$v(t) = V_{DC} + \sum_{h=1}^n V_h \cos(h\omega_0 t + \alpha_h) = V_{DC} + v_1(t) + v_2(t) + v_3(t) + \dots + v_n(t) \quad 2.1$$

$$i(t) = I_{DC} + \sum_{h=1}^n I_h \cos(h\omega_0 t + \beta_h) = I_{DC} + i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) + \dots + i_n(t) \quad 2.2$$

Burada ω_0 temel frekansı, h ise harmonik derecesini, V_h , I_h , α_h ve β_h terimleri ise h . dereceden harmonik için sırasıyla gerilim ve akımların RMS genlik ve fazlarını göstermektedir. Dalga şeklinin sinüzoidal dalga gibi simetrik olduğu durumlarda Fourier serisi sadece tek dereceli harmoniklerden oluşur. Ancak sistemde yarım-dalga doğrultucular, ark fırınları ya da Geomanyetik-İndüklemeli Akımlar (GIC) görülüyorsa çift harmonikler de ortaya çıkarlar. Sinüzoidal olmayan bir dalga şeklinin harmonikleri, bu fonksiyonun Fourier serisi bileşenlerinin çift ve tek bileşenlerine karşılık gelmektedir. [22].

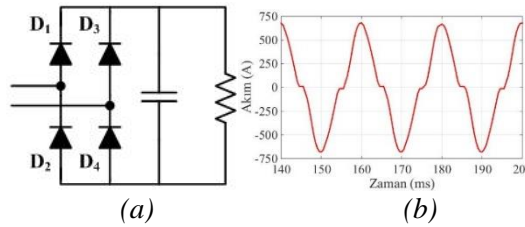
Bozulmuş bir dalga şeklinin harmonik içeriğini göstermek için Toplam Harmonik Bozunum (THD), Güç Faktörü (PF), Tepe Faktörü (CF), Harmonik Kayıp Faktörü (K-faktör), transformator güç indirgeme (derating) faktörü (TDF) gibi çeşitli parametreler kullanılmaktadır. Bunların içerisinde kolay hesaplanabilmesinden dolayı THD yaygın şekilde kullanılmaktadır. THD ile harmonik bileşenlerin temel bileşene oranı olarak hesaplanır ve yüzde cinsinden ifade edilir ve akım dalga şekli için THD değeri Eşitlik 2.3' te verildiği gibi belirlenebilmektedir.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad 2.3$$

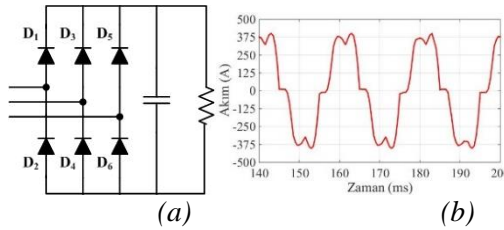
Burada I_1 temel bileşenin rms değeri ve I_h de h . dereceden harmonik bileşenin genliğidir. Harmonik bileşen içeren bir dalga şeklinin rms değeri temel bileşeni de içerecek şekilde tüm harmonik bileşenlerin rms değerlerinden hesaplanabilmektedir. THD ile bir dalga şeklinin bozunum seviyesini göstermenin temel avantajları, hızlı şekilde ölçümün yapılabilmesi ve kolaylıkla belirlenebilmesidir. En büyük dezavantajı ise doğrudan genlik ve frekans spektrumu bilgisi sağlamamasıdır [9].

Günümüz elektrik şebekesindeki yüklerin büyük bir bölümü geçmişte olduğu gibi doğrusal yüklerden oluşmamaktadır. Doğrusal olmayan bu yükler, geçmişte üretilen ve harmonikler açısından standart dışı olarak kabul edilebilecek şebeke frekanslı doğrultucular ile standartları bütün bir çalışma aralığında

karşılama yüksek frekanslı tasarımlardan kaynaklanmaktadır. Genel olarak meskenlerde bir fazlı kontrolsüz doğrultucular ile endüstride kullanılan üç fazlı kontrollü ve kontrolsüz doğrultucular dağıtım şebekesindeki enerji kalitesi açısından problem oluşturan ve en çok kullanılan yük çeşitleridir. Bu yüklerin harmonik değerleri ve dereceleri doğrultucunun faz ve darbe sayısına göre farklılıklar göstermektedirler. Yapılan bu çalışma ile hem bir fazlı ve hem de üç fazlı doğrusal olmayan yükler ile ayrı ayrı yüklenecek olan bir transformatörün titreşim davranışları analiz edilerek referans titreşim değeri olabilecek doğrusal yüklemeye anındaki titreşim değerleri karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışmalarında ilk olarak, bir fazlı doğrusal olmayan yüklerin, transformatörün her üç faz sargısına da eşit olarak dağıtıldığı durum ile daha sonra ise yükün tamamının üç fazlı doğrusal olmayan altı darbeleri bir doğrultucu yükü ile yapılmıştır. Böylece olabilecek en kötü doğrusal olmayan yük davranışına göre analiz edilmektedir. Benzetim çalışmalarında kullanılan doğrusal olmayan yüklerin toplam harmonik bozunum değerleri gerçek ortamdaki yük değerleri ile uyumludur ve doğrusal olmayan yükler altında çalışan transformatörün titreşimlerinin harmoniklerle ilişkisi araştırılarak ortaya konulmuş olacaktır. Benzetim devresinde kullanılan doğrusal olmayan bir fazlı yük ve giriş akımı Şekil 1’de, üç-fazlı altı darbeleri doğrultucu ve giriş akımları Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 1. 1-fazlı doğrultucu a) devre şeması, b) giriş akımı



Şekil 2. 3-fazlı doğrultucu a) devre şeması, b) giriş akımı

3. TRANSFORMATÖRLERDE TİTREŞİM VE BİLEŞENLERİ (VIBRATION AND ITS COMPONENTS IN TRANSFORMERS)

Transformatörlerdeki titreşimler transformatörün servis ömrünü azalttığı gibi elektriksel ve mekanik performansını da olumsuz yönde etkilemesinin yanı sıra gürültü kirliliği oluşturduğu için izlenmesi gereken parametrelerdir [23].

Transformatörde oluşan titreşimler, transformatörün çalışması süresince nüve ve sargı gibi aktif kısımları başta olmak üzere hemen hemen bütün parçalarında oluşmaktadır. Sargı ve nüve titreşimleri, bu parçalarda görülen çeşitli kuvvetler tarafından üretilmekte olup, sargı ve nüve malzemelerinin manyetik ve mekanik özellikleri ile ilişkilidir. Bunun yanında, soğutma amaçlı fan kullanılması halinde fan kaynaklı titreşimler de toplam titreşim seviyesine eklenmektedir. Genel olarak bir transformatörde yapısal titreşimler üç tip elektromanyetik kuvvet tarafından uyarılmaktadır. Bunlar; Maxwell kuvveti, manyetik büzülme kuvveti ve Lorentz kuvvetidir [24]. Transformatörün mekanik yapısında titreşimleri ortaya çıkaran bu kuvvetler gerilime bağlı ve yüke bağlı etkilerden kaynaklanmaktadır [25].

3.1. Maxwell Kuvvetleri (Maxwell Forces)

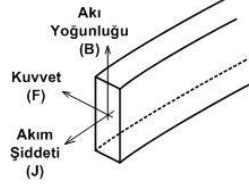
Transformatör nüvelerinin birleşme noktaları, hava aralığı bölgeleri ve yüzeyleri gibi farklı manyetik özelliklere sahip iki ortam arasında ortaya çıkan kuvvetlerdir [26]. Maxwell kuvvetleri itici kuvvetler ve çekici kuvvetler olmak üzere iki kısma ayrılabilir [26]. İtici kuvvetler, lamine yapıya sahip nüvenin hava aralığından uzak olan kısımlarında meydana gelir. Bu nedenle yoğunlukları zayıftır. Çekici kuvvetler ise

akının bir levhadan diğerine gitmesi nedeniyle hava aralığının olduğu yerlerde yoğunlaşır. Çekici kuvvetler manyetik büzülmeden kaynaklanan titreşime göre daha yüksek değerlerde ortaya çıkar.

3.2. Lorentz Kuvveti (Lorentz Forces)

Lorentz kuvveti olarak da bilinen sargı kuvvetlerinin temel nedeni kaçak akı alanı olarak adlandırılan elektrik ve manyetik alanlar arasındaki etkileşimlerdir [22, 27]. Bu elektromanyetik kuvvet (F), akım şiddeti (J) ile akı yoğunluğunun (B) vektörel çarpımı olarak Eşitlik 3.1' deki gibi ifade edilmektedir [24]. Şekil 3 ise oluşan kuvvet ile akım şiddeti ve akı yoğunluğu arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

$$F = J \times B \quad 3.1$$



Şekil 3. Manyetik akı yoğunluğu, akım şiddeti ve oluşan kuvvetin bir iletkendeki yönü [28]

Sargılarda dolaşan akım hem akı yoğunluğunu hem de akım şiddetini dolayısıyla oluşan kuvvetin genliğini etkilemektedir. Bu kuvvet her iki büyüklüğün çarpımıdır ve akımın karesiyle orantılıdır. Şekil 1, oluşan kuvvet ile akım şiddeti ve akı yoğunluğu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Sargıda meydana gelen kuvvetin yönü hem akımın hem de akı yoğunluğunun yönüne diktir.

Sargı kuvvetleri genel olarak radyal ve aksenal olmak üzere iki bileşen halinde incelenmektedir [27-28]. Her iki kuvvet bileşeni sargıların farklı kısımlarında ortaya çıkabilir. Radyal ve aksenal kuvvetler sargılar üzerinde yüksek baskıya neden olarak sargı deformasyonuna yol açmaktadırlar.

3.3. Nüve Kuvveti ve Manyetik Büzülme (Core Forces and Magnetostriction)

Manyetik malzemeler, manyetik alan içerisinde kaldıkları zaman boyutlarında oldukça küçük bir değişim gözlenmektedir. Bu değişim manyetik büzülme, bu kuvvete de manyetik büzülme kuvveti olarak adlandırılmaktadır. Malzeme boyundaki uzaman, hacmindeki uzamadan daha fazla olduğu için değişim $\mu\text{m/m}$ ile ifade edilmektedir. Genel olarak boydaki uzama miktarı akı yoğunluğunun karesi ile orantılı olarak değişirken malzeme doyma noktasına ulaştığında maksimum değerini almaktadır. Malzemenin boyundaki değişim, akı yoğunluğunun karesi ile değiştiği için manyetik büzülmenin harmonik bileşenleri çalışma frekansının çift katları olan frekans değerlerinde oluşmaktadır. Bundan dolayı nüve titreşiminin temel frekansı çalışma frekansının iki katı olmaktadır [29]. Temel bileşenin genliği ise uygulanan gerilimin karesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Transformatör nüvesi şebeke frekanslı uygulamalarda genellikle lamine levhalardan meydana geldiği için nüve bacaları ile boyunduruk arasındaki bağlantılar genelde çakışık durumda bulunmaktadır. Nüve bacaları ve boyunduruklar arasındaki istenmeyen hava aralıklarının küçük değişimleri de düzensiz bir akı dağılımına yol açtığı için manyetik büzülme kuvvetleri nüveye dik bir düzlemde oluşmaktadır [25-26, 30].

Transformatör sargılarına sinüzoidal bir gerilim uygulandığında sargıda indüklenerek olan gerilim değeri Eşitlik 3.2' de görülmektedir. Bu eşitlikte N_1 sarım sayısını, B akı yoğunluğunu, A nüvenin kesit alanını (m^2) ve U_0 ise uygulanan gerilimi göstermektedir.

$$U_0 \sin \omega t = -N_1 A \frac{dB}{dt} \quad 3.2$$

Sargılara uygulanan gerilim ve dolayısıyla akı yoğunluğu göz önüne alındığında ortaya çıkan manyetik büzülme değeri Eşitlik 3.3' te verilmiştir. Eşitlik 3.3' te λ_s , doyma manyetik büzülme değerini, B_s ise doyma akı yoğunluğunu ifade etmektedir. Buna göre manyetik büzülme kuvvetleri, akı yoğunluğunun karesi ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir [25-26, 30].

$$\lambda = \frac{\lambda_s B_0^2}{B_s^2} \cos^2 \omega t \quad 3.3$$

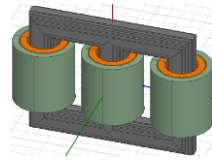
Eş.3.3 aynı zamanda manyetik büzülme değerinin akı yoğunluğu ile doğrusal olmayan bir değişim göstermektedir. Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3' ten yola çıkarak nüve titreşim ivmesi a_c Eş.3.4' teki gibi ifade edilebilir. Bu eşitlikte ω açısal frekans $\omega = 2\pi f$ i (f kaynak geriliminin frekansı), L akı yolunun uzunluğunu göstermektedir.

$$a_c = -\frac{2\lambda_s L U_0^2}{(N_1 A \omega B_s)^2} \cos^2 \omega t \quad 3.4$$

Bu bağlamda, Eş.3.4' te verilen matematiksel ifade nüve titreşim ivmesinin genliğinin ve frekansının kaynak geriliminin genliğinin karesi ve manyetik büzülme katsayısı ile doğrusal olarak değiştiğini göstermektedir. Son olarak Eşitlik 3.3 ve Eşitlik 3.4' e göre manyetik büzülme ve nüve titreşimi temel bileşenlerinin çalışma frekansının 2 katı olduğu söylenebilir. Nüve manyetik büzülmesinin doğrusal olmaması yüksek dereceli harmoniklerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır [29].

4. MODELLEME VE BENZETİM (MODELING AND SIMULATION)

Bu çalışmada 3-fazlı kuru-tip 500kVA anma gücünde bir yalıtım transformatorünün çeşitli yükler altındaki titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4' te benzetim çalışmalarında kullanılan transformatorün modeli, Tablo 1' de de bu transformatorün özellikleri yer almaktadır.

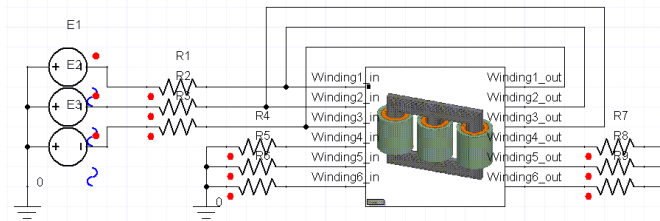


Şekil 4. Modellenen yalıtım transformatorü

Tablo 1. Benzetimde kullanılan transformatorün özellikleri

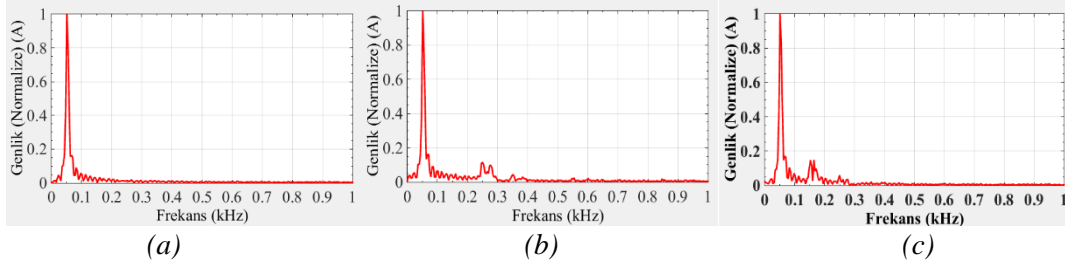
Güç kapasitesi	500 kVA
Gerilimi değeri	400 V / 400 V
Çalışma frekansı	50 Hz
Nüve malzemesi	M5 Yönlendirilmiş Silisli Sac (0,30mm)
Sargı malzemesi	Alüminyum
Yük Özellikleri	Doğrusal yük (Yük 1)
	Doğrusal olmayan yük (THD _i ~%35) (Yük 2)
	Doğrusal olmayan yük (THD _i ~%55) (Yük 3)

Benzetim çalışmalarında elektriksel uyarımlar için ANSYS Simplorer ve ANSYS Maxwell yazılımları ile eş zamanlı olarak her bir yük durumu için analizler yapılmıştır. Şekil 5'te farklı THD değerlerini elde etmek için kullanılan Simplorer devresi doğrusal yük için verilmiştir. Tablo 1' de belirtilen yüklerle göre ANSYS Maxwell ile yapılan elektromanyetik modelleme ile yüklü durumlar için nüvede oluşan kuvvetler belirlenmiş daha sonra bu kuvvetler ANSYS Workbench Mechanical ile yapılan harmonik tepki analizi için giriş parametrelerini oluşturmuştur.



Şekil 5. Doğrusal yük için Simplorer yazılımında benzetim devresi

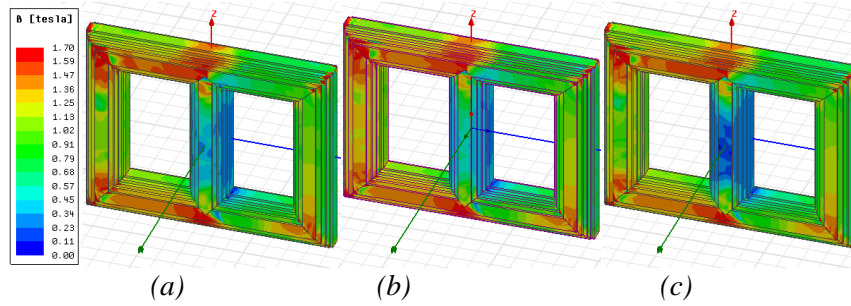
Transformatörler normal şartlarda doğrusal yük altında çalışacak şekilde tasarlanılmışlardır. Ancak günümüz uygulamalarında doğrusal yükler kadar çeşitli harmonik bozunum seviyelerine sahip doğrusal olmayan yükler de bulunmaktadır. Bu doğrusal olmayan yüklerin transformatör titreşimine olan etkilerini belirlemek amacıyla çalışmanın bu kısmında 3 farklı yaygın yük kullanılmıştır. Bu yükler ve THD değerleri Tablo 1’ de verilmiştir. 1-fazlı doğrultucu ile yüklenme durumunda transformatörün her fazı ayrı ayrı 1-fazlı doğrultucu ile yüklenmiştir. Her 3 yük durumu için transformatör anma yük seviyesinde çalışmaktadır.



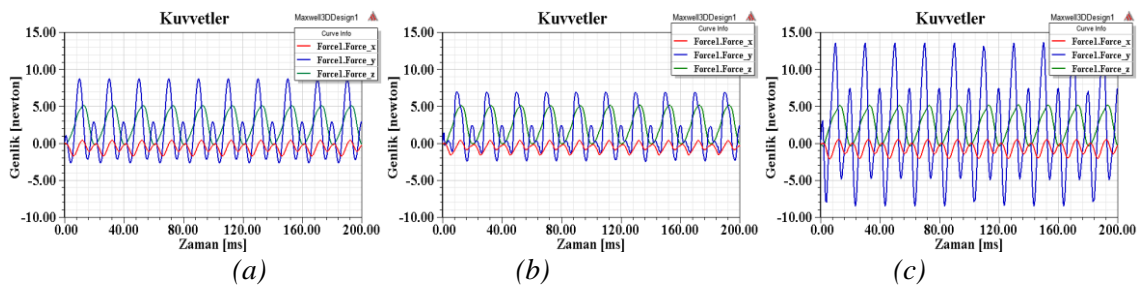
Şekil 6. Transformatörün şebekeden çektiği akımların harmonik spektrumu a) doğrusal yüklenme durumu, b) 3 fazlı doğrultucu ile yüklenme, c) 1 fazlı doğrultucu ile yüklenme

Şekil 6’ daki benzetim sonuçlarından elde edilen yük akımlarının harmonik spektrumlarından görüleceği gibi doğrusal yükte sadece 50Hz’ de temel bileşen, üç fazlı doğrultucuda ise temel bileşene ek olarak sırasıyla temel bileşenin %11,5’ i ve %4,3’ ü kadar genliğe sahip 5. ve 7. harmonik bileşenler yer almaktadır. Bir fazlı doğrultucuda ise temel bileşenin yanı sıra temel bileşenin sırasıyla %14,6, %5,8 ve %2’ si kadar genliklere sahip 3., 5. ve 7. harmonik bileşenler bulunmaktadır.

Belirtilen çalışma koşullarında nüvede oluşan akı yoğunlukları Şekil 7’ de görülmektedir. Her üç nüve için gerilimin en yüksek değerini aldığı 0,185ms anı seçilmiş ve akı yoğunluğu skalası üç nüve için ortak olacak şekilde belirtilmiştir. Bu nüvelere ilişkin nüve yapısının bütününe ait üç yöndeki kuvvet eğrileri ise Şekil 8’ de verilmiştir.



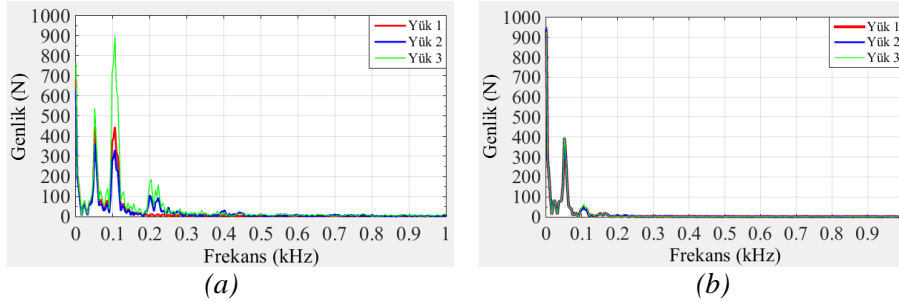
Şekil 7. Nüve akı yoğunlukları a) doğrusal yük, b) 3 fazlı doğrultucu, c) 1 fazlı doğrultucu



Şekil 8. Nüve kuvvetleri a) doğrusal yük, b) 3 fazlı doğrultucu, c) 1 fazlı doğrultucu

Bütün yük koşullarında y-yönündeki kuvvetin tepe değeri z-yönündeki kuvvetlerin genliklerine kıyasla daha yüksek değerde olduğu Şekil 8’ den görülmektedir. Şekilden ayrıca x-yönündeki kuvvetlerin çok

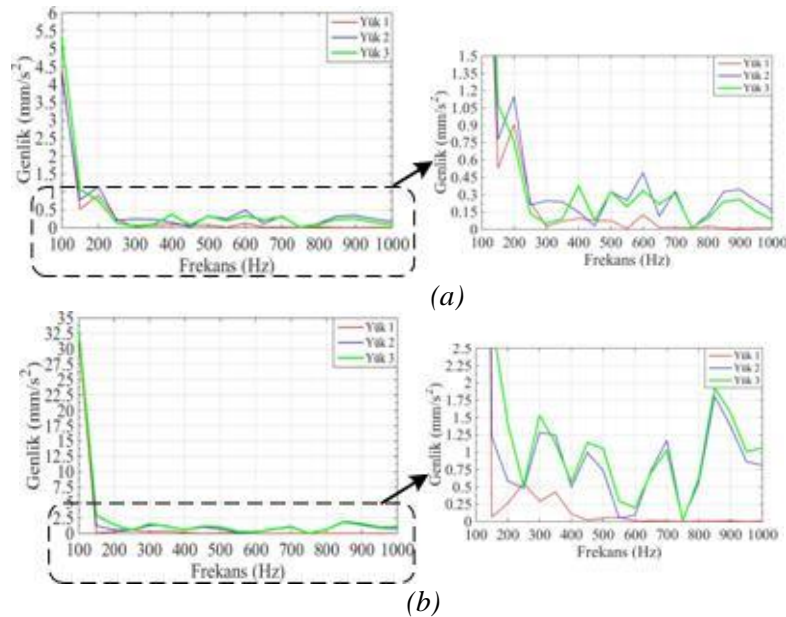
düşük genliklerde ve periyodik olduğu da görülmektedir. Bu nedenle x-yönüne ait ivme harmonik bileşenleri bu çalışmada incelenmemiştir. Elektromanyetik modelleme ile elde edilen bu nüve kuvvetlerinin Şekil 9' da verilen harmonik bileşenleri Ansys-Mechanical programında giriş parametresi olarak kullanılmış ve bunlara göre titreşim ivmesinin harmonik tepkileri elde edilmiştir.



Şekil 9. Nüve kuvvetlerine ilişkin harmonik spektrumları a) y-yönü (radyal), b) z-yönü (eksenel)

Şekil 9 (a)' da görülen radyal kuvvetlere ilişkin harmonik spektrumda doğrusal yük durumunda sadece DA bileşen, 50Hz ve temel bileşen ortaya çıkmıştır. Harmonik bozunum değerinin artmasıyla birlikte bu bileşenlere ek olarak 200Hz' de de bir bileşen ortaya çıkmış ve genlikleri de temel bileşene göre Yük 2 ve Yük 3 için sırasıyla %789 ve %1467 oranlarında artış göstermiştir. Şekil 9 (b)' deki eksenel kuvvetlerde ise; akım harmonik bozunumunun artmasıyla kuvvet harmonik bileşenlerinde çok küçük bir değişim olduğu ve radyal kuvvetlerin aksine eksenel kuvvetlerde sadece DA, 50Hz ve temel bileşen bulunduğu görülmektedir.

Şekil 10' da belirtilen 3 farklı çalışma durumu için titreşim ivmelerinin frekans bileşenleri verilmiştir.



Şekil 10. Yük tipine göre elde edilen ivme sinyalleri (a) y-yönü titreşimler, (b) z-yönü titreşimler

Şekil 10 (a)' da verilen y-yönündeki titreşimlerde temel bileşen genliği harmonik bozunum derecesiyle paralel bir değişim göstermiştir. Yük 3 titreşiminin 2. bileşeni diğer yüklerle göre daha düşüktür. Yük 1' e ait ivme harmonik genlikleri diğer yük tiplerine göre daha düşük değerlerde ortaya çıkmıştır. Yük 1' e ait ivme değerleri referans olarak alındığında Yük 2 ivme genlikleri 100Hz' de %3,8 azalırken 200Hz' de %27,7 oranında artmıştır. Yük 3 ivme genlikleri ise 100Hz' de %2,83, 200Hz' de ise %123 oranında artış göstermektedir.

Şekil 10 (b)' de verilen eksenel ivmelerde ise Yük 1 haricindeki diğer iki yükün harmoniklerinin genlikleri ve frekansları yakın değerlerdedir. Yük 1' e ait 100Hz' deki ivme bileşeninin genliği referans alındığında

Yük 2 için %2,83, Yük 3 için %3,78 oranlarında artış meydana geldiği görülmektedir. Yük 1' de ise 250Hz ve 350Hz frekanslarında karakteristik olmayan iki harmonik bileşen görülmüş ve bunların haricinde başka bir harmonik bileşen oluşmamıştır. Yük 2 ve Yük 3'te ise akım sinyalindeki harmonik bileşenler transformatör titreşiminin yüksek dereceli harmonik bileşenlerinin ortaya çıkmasına yol açmakta ve genliklerini etkilemektedir.

Şekil 6 ile Şekil10 birlikte incelendiğinde akım harmonik bileşenleri ile ivme harmonik bileşenleri arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır. Örneğin, Yük 2 akımının 3. harmonik bileşeni bulunmamasına rağmen aksel yöndeki ivme frekans spektrumunda 3. bileşen olduğu görülmektedir. Şekil 9 ile Şekil 10 birlikte incelendiğinde yine benzer şekilde nüve kuvvetlerinin harmonik bileşenleri ile ivme harmonik bileşenleri arasında frekans açısından doğrudan bir ilişki bulunmamasına rağmen Yük 2 ve Yük 3' te görülen 200Hz ile 400Hz' deki bileşenleri ivme harmonik spektrumunda da bu frekanslardaki bileşenlerin genliğini artırmıştır.

Benzetim sonuçları değerlendirildiğinde;

- THD değerinin artması, titreşim ivmesinin harmonik bileşen sayısı ve genliğinde artışa yol açmaktadır (Şekil 10(b)).
- THD değerindeki artış ile beraber nüve kuvveti harmonik spektrumunda 2. ve 4. bileşenler ortaya çıkmış bu durum ise ivmenin 2. ve 3. harmonik bileşen genliğini artırmıştır. 2. Harmonik bileşen nüvede herhangi bir mekanik problemin ortaya çıkmasını önceden belirlemek için incelenmelidir.
- Bunlara ek olarak 1-fazlı doğrultucunun kullanılmasıyla oluşan THD değerinin artması, nüve kuvvetinin temel bileşenini doğrusal yük için %61, 3-fazlı doğrultucu için %45 oranında artırmış olsa da aksel ivme genliklerinde benzer oranda bir artışın oluşmadığı, sadece frekans spektrumunda tepe değeri ifade eden genliğin artmasına yol açtığı görülmüştür.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Güç sistemlerinde doğrusal olmayan akımlar çeken yükler giderek artmakta ve bu yüklerin büyük genlikli harmonik bileşen dereceleri transformatörlerin kayıplarını artırdığı gibi titreşimlerinin de artmasına yol açmaktadır. Doğrultucu devreleri gibi doğrusal olmayan yükleri besleyen transformatörlerde bu durum birçok olumsuz gelişmeyi de beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzluklardan birisi olan titreşimler, yıpranmayı hızlandırdıkları ve transformatör yapılarında mekanik arızalara yol açabildikleri için izlenmelidirler. Bu çalışmada doğrusal yük ile farklı THD değerlerinde akım çeken doğrultucu yüklerinin transformatör nüve titreşimleri üzerine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan analizlerde, her yük durumunun nüve üzerinde oluşturduğu kuvvetlere göre titreşim harmonik tepkileri belirlenmiştir. Elde edilen harmonik tepkilere göre, THD değerinin artmasıyla birlikte radyal ve aksel yönlerdeki titreşim sinyallerinin temel bileşen ile 2. ve 3. harmonik bileşen genliklerinde artışlar olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak, THD değerinin artması titreşimin frekans spektrumunda, harmonik akımların derecelerine bağlı olarak daha fazla sayıda bölgesel maksimum noktaları oluşmasına yol açmaktadır. Aksel yöndeki titreşimler transformatör üzerinde nüve deformasyonu gibi arızalara yol açabileceği sebebiyle özellikle kritik önemdeki uygulamalarda transformatörlerin vibrasyona yönelik davranışlarının dikkatle izlenmesi ile arızaların önceden tespit edilebilmesi ve yaşanmanın geciktirilmesi mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gezeğin, C., Dirik, H., Özdemir, M. Transformatörlerin Ortalama Sargı Dirençlerinin Gerçek Zamanlı Ölçümü, GU J Sci, Part C, 6(3): 592-604, (2018).
- [2] Ahmad A.A., Abrishamifar A., Jamarani M. E., Designing 3-Phase Inverters with Δ/Y Output Isolation Transformer, The 5th Annual International Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC 2014), 2014, pp. 223-226.
- [3] Greco N., Parisi A., Palmisano G., Spina N., Ragonese E., Integrated Transformer Modelling for Galvanically Isolated Power Transfer Systems, 13th Conference on Ph.D. Research in Microelectronics and Electronics (PRIME), 2017, pp. 325-328.

- [4] Ertl M., Voss S. The Role of Load Harmonics in Audible Noise of Electrical Transformers, *Journal of Sound and Vibration*, 333 (2253-2270), (2014).
- [5] Biricik S., Özerdem Ö. C., Experimental Study and Comparative Analysis of Transformer Harmonic Behaviour under Linear and Nonlinear Load Conditions, 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011.
- [6] Cazacu E., Ionita V., Petrescu L., Thermal aging of power distribution transformers operating under nonlinear and balanced load conditions, *Power Engineering and Electrical Engineering*, 16(1), 92-100, (2018).
- [7] Galli W., Skvarenina T. L. (2002). *Power Quality and Utility Interface Issues*, CRC Press LLC.
- [8] Abu Dhabi Distribution Company, Al Ain Distribution Company, Abu Dhabi Supply Company for Remote Areas (RASCO), Limits for Harmonics in the Electricity Supply System, Engineering Recommendation No.1 of the Electricity Distribution Code, <https://www.aadc.ae/img/41f76c6a-90c5-46e4-aabc-1414e6e4896b.pdf>. Yayın tarihi 2005. Erişim tarihi: Nisan 28, 2018.
- [9] Fuchs E., Masoum M. *Power Quality in Power Systems and Electrical Machines*, Elsevier Science, 19-20, (2008).
- [10] Zizins-Malisevs S., Poiss G., Power Transformer Mechanical Condition Assessment with A Vibration-Based Diagnostic Method, 56th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2015.
- [11] Berler Z., Golubev A., Rusov V., Tsvetkov V., Vibro-Acoustic Method of Transformer Clamping Pressure Monitoring, In Proceedings of the IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 2000, 263-266.
- [12] Xiong W., Ji R., Nonlinear Time Series Analysis of Transformer's Core Vibration, The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation 2, 2006, 5493 – 5496.
- [13] Borucki S., Time-Frequency analysis of mechanical vibrations of the dry type power transformer core, *ACTA PHYSICA POLONICA A*, 120 (4), 571-574, (2011).
- [14] Borucki S., Diagnosis of technical condition of power transformers based on the analysis of vibroacoustic signals measured in transient operating conditions, *IEEE Transactions on Power Delivery*, (27) 2, 670-676, (2012).
- [15] Munir B. S., Smit J. J., Rinaldi I G. M. R., Diagnosing Winding and Core Condition of Power Transformer by Vibration Signal Analysis, *International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, 2012.
- [16] Zheng J., Pan J., Huang H., An experimental study of winding vibration of a single-phase power transformer using a laser doppler vibrometer, *Applied Acoustics* 87, 30-37, (2015).
- [17] Qian G., Research on Spectrum Eigenvalues of Transformer Vibration and its Application on Diagnosis, *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, (2016).
- [18] Naranpanawe L., Ekanayake C., Finite Element Modelling of a Transformer Winding for Vibration Analysis, *Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, (2016).
- [19] Bartoletti C., Desiderio M., Di Carlo D., Fazio G., Muzi F., Sacerdoti G., Salvatori F, Vibro-Acoustic techniques to diagnose power transformers, *IEEE Transactions on Power Delivery*, (19) 1, 221-229, (2004).

- [20] García B., Burgos J. C., Alonso A., Transformer tank vibration modeling as a method of detecting winding deformations—Part 2: Experimental verification, *IEEE Transactions Power Delivery*, 21 (1), 164-169, (2006).
- [21] Wang Y. (2015). Transformer vibration and its application to condition monitoring, PhD Thesis, University of Western Australia, School of Mechanical and Chemical Engineering.
- [22] Najafi A., Iskender I., Electromagnetic force investigation on distribution transformer under unbalanced faults based on time stepping finite element methods, *Electrical Power and Energy Systems* 76, 147–155, (2016).
- [23] Wei G. S., Xin L., Qiang L., Hong W., Duanchunjian Z., Vibration finite element analysis of SC10 dry-type transformer core, *Sensors and Transducers*, 173 (6), 75-81, (2014).
- [24] Shuai P., Biela J., Investigation of Acoustic Noise Sources in Medium Frequency, Medium Voltage Transformers, *European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'14-ECCE Europe)*, 2014, pp. 1-11.
- [25] Garcia B., Burgos J. C., Alonso A., Winding deformations detection in power transformers by tank vibrations monitoring, *Electric Power Systems Research* 74, 129-138, (2005).
- [26] Tabrizi S., Study of effective methods of characterization of magnetostriction and its fundamental effect on transformer core noise, PhD thesis, Cardiff University Wales, 2013.
- [27] Gutten M., Janura R., Jurcik J., Determination of Electromagnetic Forces Caused by Short-Circuit Currents, *56th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2015, 1-4.
- [28] Mohamed, N., Electromagnetic forces in transformers under short circuit conditions, *Powertech Transformers*, 36-40, 2011.
- [29] Du B. X., Liu D. S., Dynamic behavior of magnetostriction-induced vibration and noise of amorphous alloy cores, *IEEE Transactions on Magnetics*, 51 (4), (2015).
- [30] Hong K., Huang H., Zhou J., Winding condition assessment of power transformers based on vibration correlation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30 (4), 1735-1742, (2015).

Investigation of Wear Properties of Al-SiC Composite Materials Produced by Powder Metallurgy Method

Halil ARIK

Gazi University Faculty of Technology, Department of Metallurgical & Materials Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 05/07/2019

Revision: 01/08/2019

Accepted: 29/08/2019

Highlights

- Mixing of powders in turbula device.
- Compaction of mixing powders and sintering of block samples
- Dry sliding wear tests of composite materials by pin-on-disc method

Keywords

Powder metallurgy,
Al-SiC composite,
Abrasive wear

In this study, SiC reinforced composite material was produced by applying powder metallurgy production technique as solid state method. Initially, mechanically grinding and mixing process of the aluminum and SiC powder was realized in turbula device containing steel ball. Then, mechanical tests and metallographic examinations of powder metal composite samples which were pressed at 500 MPa pressure and sintered for 2 hours at 650 °C were performed. After the characterization study such as density and hardness measurements, dry sliding wear test all of the composite materials were performed by using pin-on-disc method. Wear tests of composite were carried out under the different load (3-6-9- and 12 N) and at 1,15 m/s sliding speed for 200 m wear distance using SiC emery paper. Wear test results showed that composite materials containing SiC have better wear resistance according to matrix powder metal parts produced under the same conditions.

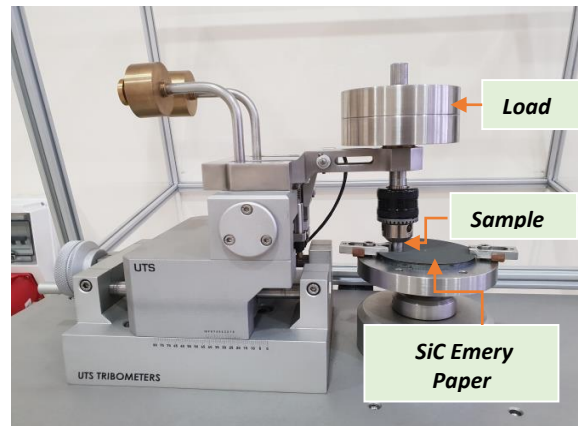


Figure 1. Abrasive test machine

Purpose: The main purpose of this study, investigation of the effects of SiC as a reinforcing element on the wear properties of aluminum matrix composite materials.

Theory and Methods: In this study, for Al-SiC composite materials, powder metallurgy as a production method and dry sliding pin-on disc method as wearing method were used.

Results: The homogeneous distribution of aluminum and SiC powders in each other has been accomplished successfully by mixing process in the turbula device. In the produced powder metal composite material, 30.9% hardness increase was obtained compared to the aluminum powder metal part which forms the matrix structure. According to the abrasive test results, adding to the matrix 10% by weight SiC caused a decrease in weight loss in the range of 48.4% to 79.6% in composite materials.

Conclusion: The mixing of aluminum and silicon carbide powders under the deformation effects of steel balls in the turbula device provided a homogeneous distribution of the powders within each other. This has resulted in significant improvements in the mechanical properties of the composite material, in particular the wear behavior.



Toz Metalurjisi Metoduyla Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması

Hali ARIK

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Alüminyum matrisli seramik parçacık takviyeli kompozitler matris malzemeye göre daha yüksek aşınma ve ısı genleşme direnci gibi özelliklerinden dolayı özellikle uzay ve havacılık alanında tercih edilen malzemelerdir. Bu çalışmada katı hal yöntemi olan toz metalurjisi üretim metodu uygulanarak SiC takviyeli kompozit malzeme üretilmiştir. Başlangıçta matris yapıyı oluşturan atomize alüminyum tozu ve SiC tozu turbula cihazında mekanik olarak öğütme ve karıştırma işlemine tabi tutularak kompozit toz üretimi gerçekleştirilmiştir. 500 MPa basınçta preslenen ve 650 °C'de 2 saat süreyle sinterlenen toz metal kompozit numunelerin mekanik testleri ve metalografik incelemeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen uygulama ile takviye elemanının matris yapı içerisinde homojen dağılımı ve kompozitin aşınma direnci başta olmak üzere mekanik özelliklerinde iyileştirme hedeflenmiştir. Üretilen kompozit malzeme üzerinden gerçekleştirilen metalografik incelemeler mekanik karıştırma ile SiC'ün matris yapı içerisinde homojen dağılımının gerçekleştiğini gösterirken elde edilen sertlik, kırma testi ve aşındırma testi sonuçları alüminyuma SiC ilavesinin kompozit malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 05/07/2019

Düzeltilme: 01/08/2019

Kabul: 29/09/2019

Anahtar Kelimeler

Toz metalurjisi,
Al-SiC kompozit,
Abrasive aşınma

Keywords

Powder metallurgy,
Al-SiC composite,
Abrasive wear

Investigation of Wear Properties of Al-SiC Composite Materials Produced by Powder Metallurgy Method

Abstract

Aluminum matrix and ceramic particle reinforced composites are preferred materials especially in aerospace and aviation field due to their high abrasion and thermal expansion resistance compared to matrix material. In this study, SiC reinforced composite material was produced by applying powder metallurgy production technique as solid state method. Initially, to obtain composite powder, mechanically grinding and mixing process of the aluminum and SiC powder was realized in turbula device containing steel ball. Then, mechanical tests and metallographic examinations of powder metal composite samples which were pressed at 500 MPa pressure and sintered for 2 hours at 650 °C were performed. The aim of this study, by obtaining the homogeneous distribution of the SiC strengthening particles in the aluminum matrix structure was to improve the mechanical properties of the matrix structure, particularly the abrasive wear resistance. Tests results have shown that the composite has better wear resistance than aluminum powder metal part. It has been observed that by adding silicon carbide into the aluminum, abrasive wear resistance and other mechanical properties considerably improved.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda ortaya çıkan teknolojik gelişmeler özellikle mühendislik alanında tüketilmekte olan malzemelerden performans anlamında beklentileri daha da artırmıştır. İki veya daha fazla farkı malzemenin bir araya getirilerek üretilen kompozit malzemeler bu beklentilere önemli ölçüde cevap verebilen bir alternatif malzeme grubunu oluşturmaktadır. Başlangıçta daha çok uzay ve havacılık alanında kullanılan araçlar için yapı malzemesi olarak tasarlanan ve üretilen kompozit malzemeler ilerleyen süreçte özellikle otomotiv sektörü başta olmak üzere pek çok alanda yaygın şekilde tüketilir hale gelmiştir. Kompozit malzeme üretiminde matris yapıyı polimer, seramik veya metal oluşturabilir. Metal matrisli kompozitler (MMK) yüksek sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özellikler ile düşük termal genleşme özelliklerini bir arada verebilen ve bu sebeple yapı elmanı olarak tercih edilen malzemelerdir [1-4]. Üretilen metal matrisli

kompozitler içerisinde alüminyum matrisli malzemeler önemli bir yere sahiptir. Alüminyuma ve alaşımlarına göre alüminyum matrisli kompozitlerde elde edilen daha yüksek sertlik, mukavemet, tokluk ve aşınma direnci gibi potansiyel özellikler bu tür malzemeler üzerine olan çalışmaları artıran bir hızla devam ettirmektedir [5-9]. Seramik parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit üretiminde ergiyik yöntem ve katı hal yöntemi olarak iki farklı yoldan biri tercih edilmektedir [10]. Ergiyik yöntemde ergiyik alüminyum metaline katı parçacık olarak takviye elemanı ilave edilirken karşılaşılan en belirgin problem takviye elemanının matris yapı içerisinde dağılımındaki düzensizliklerdir. Katı hal yöntemi olan toz metalürjisi metodu ile üretilen kompozitlerde ise matris ve takviye elemanı konumundaki tozların katı halde birbiri içerisinde karıştırılması sonra karışım tozun preslenmesi ve sinterlenmesi şeklinde kompozit toz metal parça üretimi gerçekleştirilir. Üretilen kompozit malzemelerde başta mekanik özellikler olmak üzere hedeflenen özellikleri elde edebilmek için kullanılan tozların karışım oranları, birbiri içerisindeki dağılımı, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi parametrelerin çok iyi kontrol edilmesi gerekmektedir [10-14]. Parçacık takviyeli kompozit üretiminde toz metalürjisi ile üretimin tercih edilme sebeplerini; tüketilen tozun yüksek oranda ürüne dönüştürülebilmesi, ergitme kayıplarının olmaması, seri üretimle küçük ve karmaşık şekilli parçaların hızlı üretimi, pek çok ürünün bitirme işçiliğine gerek kalmadan istenen ölçülerde ve yüzey kalitesinde üretimi, ürün kompozisyonu ve yapısının kontrol edilebilir olması, ayrıca atık ve çevre kirliliği bakımında diğer üretim yöntemlerine göre sağladığı avantajları tercih sebepleri olarak sıralayabiliriz. Dezavantajı yanları ise; çok karmaşık parçaların üretim güçlüğü, az sayıda parça üretimi için maliyetin yüksek olması, çoğu zaman toz maliyetinin ingot malzemeye göre yüksek olması olarak sıralanabilir. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci için partikül takviyeli ve alüminyum matrisli kompozit üretiminde takviye elemanı olarak seramik esaslı SiC, B₄C, Al₂O₃, ZrO₂, TiC, Si₃N₄ ile birlikte ağırlıkça %1,5 değerini geçmeyecek oranlarda katı yağlayıcı tüketilmektedir. Matris içerisine ilave edilen takviye elemanının temel görevi kompozitteki matris yapının sertliğini ve ısı şok direncini iyileştirmektir. Parçacık takviyeli toz metal kompozit malzeme üretiminde takviye elemanının matris yapı içerisindeki dağılımı çok önemlidir. Toz metal parçanın bütün kesitinden aynı özellikleri elde etmek için takviye elemanının matris yapı içerisindeki dağılımının homojen olması büyük önem taşımaktadır [15-19].

Küresel enerji tüketiminin yaklaşık üçte biri değişik ortamlarda sürtünmeye karşı tüketilmektedir. Değişik makine elemanlarının çalışma sürecinde birbiri ile temasına bağlı olarak meydana gelen aşınmalar, parçalarda boyutsal değişimlere sebep olurken, bu parçaların çalışma ritminde bozulmalara, erken parça değişimlerine zaman ve ürün kayıplarına sebep olarak üretim ve hizmet maliyetlerini artıran neticeler doğurmaktadır. Bu sebeple, metallerin aşınmasının etkili bir şekilde azaltılması ve kontrolü her zaman istenen bir durumdur. Aşınma, “iki yüzey birbiriyle göreceli hareket halinde iken, bir veya iki yüzeyden malzemenin aşınarak eksilmesi olarak tanımlanabilir. Mevcut aşınma şekline göre aşınma mekanizmaları, abrasiv, adhesiv, eroziv, koroziv ve yüzey yorulma aşınması şeklinde isimlendirilirken bunlardan abrasiv aşınma görülme sıklığı ve neticeleri bakımından en önemli aşınma çeşitlerinden biridir [20-23].

Abrasiv aşınma, sert bir yüzeyin daha yumuşak bir yüzeye doğru kaydığı ve partikül koştugu zaman meydana gelen aşınma olarak tanımlanır. Sürtünme yüzeylerinden birindeki kesen veya oyan sert parçacıklar ya da pürüzler diğer yüzeyde aşındırıcı bir etki yapar. Bu sert malzeme, iki sürtünme yüzeyinden birinden kaynaklanabilir. Son tribolojik araştırmalara göre, aşınmaya bağlı yıpranma endüstriyel uygulamada en büyük maddi kayıptan sorumludur [15-24-25]. Al matrisli seramik partikül takviyeli ergiyik ve toz metalürjisi yöntemi olmak üzere her iki yolla yapılan pek çok kompozit üretimi ve başta mekanik özellikleri olmak üzere iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Toz metalürjisi yöntemiyle üretimde kullanılan seramik partikül boyutu küçülürken matris yapı içerisinde kümelenmeler şeklinde, partikül boyutu büyürken matris yapı içerisinde homojen olmayan dağılım sıklıkla karşılaşılan bir problemdir. Özellikle seramik karakterdeki takviye elemanlarının metal toz partikülleri arasında yer alması sinterleme sürecinde metal tozlar arası difüzyonla bağlanmayı engellerken seramik partiküllerin matris yapıya bağlanması da beklentilerin gerisinde kalmaktadır. Bu sebeple metal ve seramik tozların karıştırma işlemi çoğu zaman yüksek enerjili adritörlerde yapılmaktadır. Literatür taramasında görülen benzer çalışmalar incelendiğinde takviye elemanı oranı belli bir sınırın üstüne çıkarken kompozit malzemelerin aşınma dayanımlarının azaldığı görülmektedir [26]. Yapılan bu çalışmada alüminyum matrisli ve % 10 SiC parçacık takviyeli MMK üretimi yapılırken tozların birbiri içerisinde homojen dağılımını sağlamak ve tozlar arası mekanik bağlanmayı artırmak için karıştırma işlemi çelik bilye içeren silindirik plastik kapta turbula cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Turbula cihazında bilye içeren ortamda karıştırma yaparak yüksek enerjili

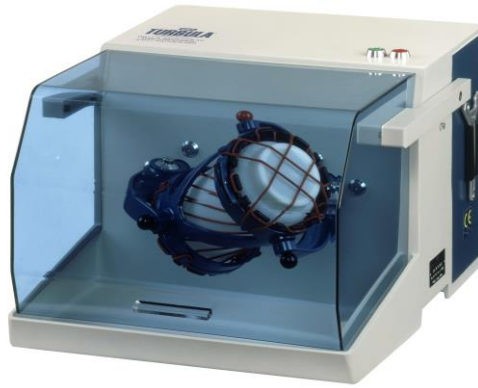
adritör etkisi elde edilmek istemiştir. Üretilen kompozit malzemenin yoğunluk, sertlik, kırılma mukavemeti ve mikroyapı bakımından karakterizasyonu sonrası abrasiv aşınma testleri yapılarak takviye elemanının matris yapının aşınma performansına olan etkileri ortaya konulmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDY)

Kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi olarak ECKART Dorn firmasından temin edilen % 97,7 saflıkta ve 200 μm altı boyutta atomize alüminyum, takviye elemanı olarak 16 μm altı SiC toz kullanılmıştır. Tozların birbiri içerisinde karıştırılması şekil 1' verilen turbula (Type -T2F) cihazında gerçekleştirilmiş olup, işlem parametreleri tablo 1'de verilmiştir.

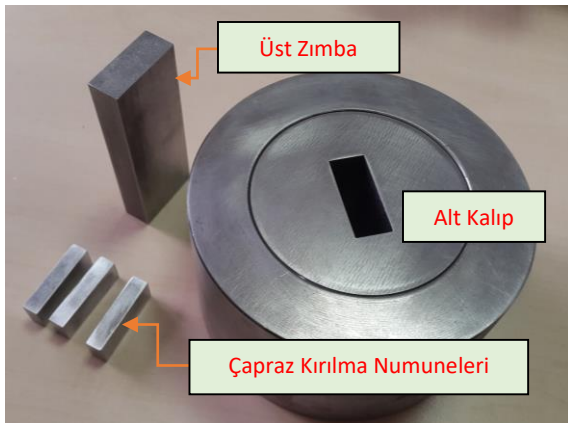
Tablo 1. Mekanik Karıştırma Parametreleri

Malzeme	Al (gr)	SiC (gr)	10 mm çapta çelik bilye (g)	Kar. süresi (Saat)
Al+SiC	225	25	200	2

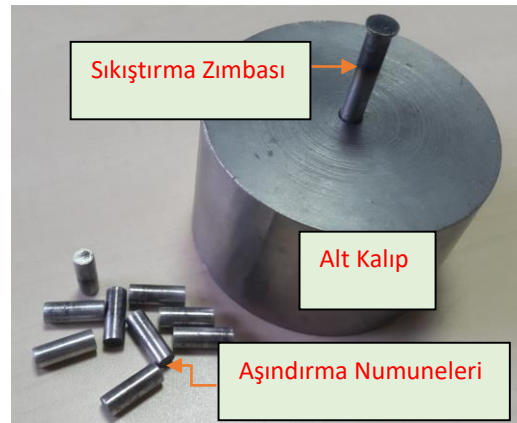


Şekil 1. Turbula karıştırma cihazı

Karıştırma sonrası kompozit tozun toz parçacık boyutu ve dağılımı **Malvern Mastersizer E. ver. 1.2b** cihazında ölçülmüştür. Kompozit tozdan ve matris malzemesinden 500 MPa basınç altında tek yönlü aksenal preste kalıp içerisinde iki farklı geometride numune preslenmiştir. İlk olarak ASTM B-312'ye göre 6,35x12,7x31,7 mm boyutlarında çapraz kırılma numuneleri (Şekil 2), daha sonra silindirik kalıpta çapı 6 mm ve boyu 12 mm olan silindirik pin-on-disk aşındırma testi numuneleri üretilmiştir (Şekil 3).



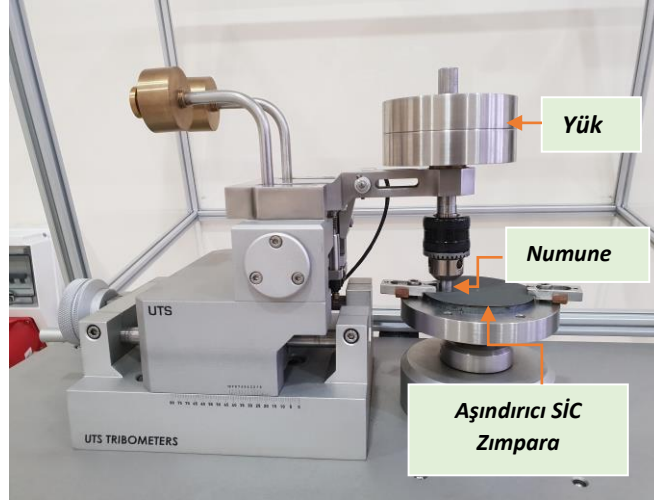
Şekil 2. Çapraz kırılma numunesi kalıbı



Şekil 3. Silindirik numune kalıbı

Her iki kalıpta matris malzemesinden ve kompozit tozdan preslenerek üretilen numuneler 650 °C sıcaklıkta ve 2 saat süreyle korucu Ar gazı ortamında tüp fırında sinterlendi. Toz metal numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası yoğunluk ölçümleri 0,1 mg hassasiyette SARTORIUS marka terazide yoğunluk kiti yardımıyla arşiment prensibine göre yapıldı. Numunelerin sertlik ölçümleri Brinell cinsinden 31,25 kgf yük altında 2,5 mm çapta standart tungsten karbür bilye kullanılarak gerçekleştirildi. Çapraz kırılma testleri INSTRON

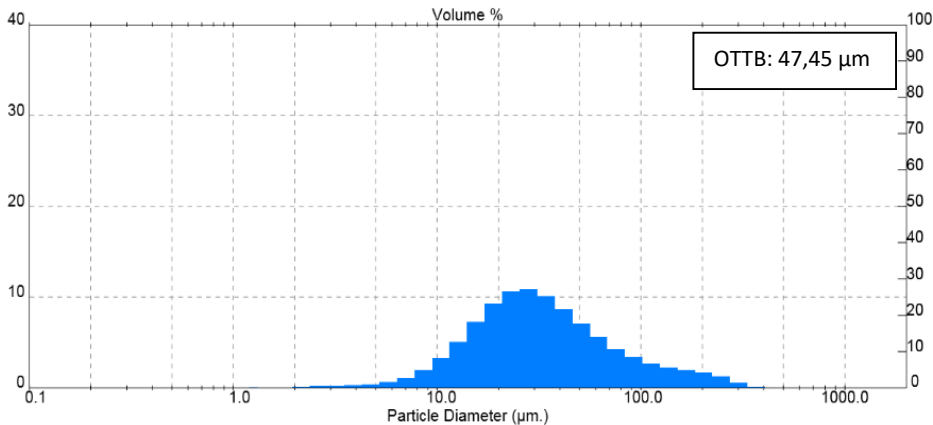
Cat. # 2716-020 çekme test cihazında yapıldı. Numuneler üzerinden metalografik inceleme için sırayla bakalite gömme, 320-1200 mesh aralığında zımparalama ve son olarak sırayla 6-3-1 mikron elmas solüsyonla parlatma işlemleri gerçekleştirildi. Metalografik yapı ve mekanik özellikler bakımından karakterize edilen toz metal numunelerin aşınma testleri Şekil 4'te verilen aşınma test cihazı kullanılarak 200 m mesafede farklı yükler (3-6-9-12 N) altında ve farklı SiC zımpara aşındırıcılar (320-400 ve 600 Mesh) üzerinde gerçekleştirildi (Şekil 4).



Şekil 4. Aşındırma test cihazı

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSION)

Mekanik karıştırma sonrası karışım toz üzerinden yapılan toz tane boyut ölçümünde karışım tozun önemli ölçüde deforme olarak şeklinin ve boyutunun değiştiği görülmektedir. Mekanik karıştırma sürecinde öncelikle alüminyum toz parçacıkları bilyelerin çarpma tesiri altında deforme olarak pekleşmekte ve devamında kırılarak daha küçük parçalara bölünmektedir. Yapılan ölçüm sonrası karışım tozun ortalama toz parçacık boyutunun (OTPB) $47,45 \mu\text{m}$ ' ye düştüğü görülmektedir (Şekil 5). Yine karışım tozun mikroskop incelemelerindeki görüntüleri alüminyum tozun başlangıçtaki küresele yakın parçacık morfolojisinin önemli ölçüde bozulduğunu göstermektedir. Elde edilen neticeler literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olup, karıştırma süresi veya karışım toza karşılık bilye miktarı artarken karışım tozun deformasyonu ve boyuttaki küçülme daha da artmaktadır. Ancak karıştırma sürecinde tozların birbirine kaynaklanması ve topaklanması karıştırma süresince toz parçacık boyutundaki küçülmeyi kısmen engelleyebilir. Bu durumu önlemek için karışım toza başlangıçta ağırlıkça % 1,5 değerini geçmeyen miktarlarda yağlayıcı ilavesi yapılabilir. Yapılan uygulamada alüminyum toz parçacıklarının birbirine kaynaklanması ciddi anlamda ortama ilave edilen SiC tarafından engellenmiştir [27-28].



Şekil 5. Kompozit tozun toz tane boyut dağılımı

Turbula cihazında yapılan mekanik karıştırma işleminde çelik bilyelerin kullanım amacı alüminyum ve SiC tozların birbiri içerisinde dağılımını daha homojen kılmak ve matris yapı ile takviye elemanı arasındaki mekanik bağlanmanın daha iyi olması sağlamaktır. Toz metalürjisi metodu ile parçacık takviyeli ve alüminyum matrisli kompozit malzeme üretiminde gerekli tedbirler alınmadığı takdirde takviye elemanı olarak ortama ilave edilen seramik tozun yer yer topaklandığı yada daha çok alüminyum toz parçacıkları ara yüzeyinde bulunarak matris yapının kendi içerisinde difüzyonla sinterleşmesini önemli ölçüde engellemektedir [28].

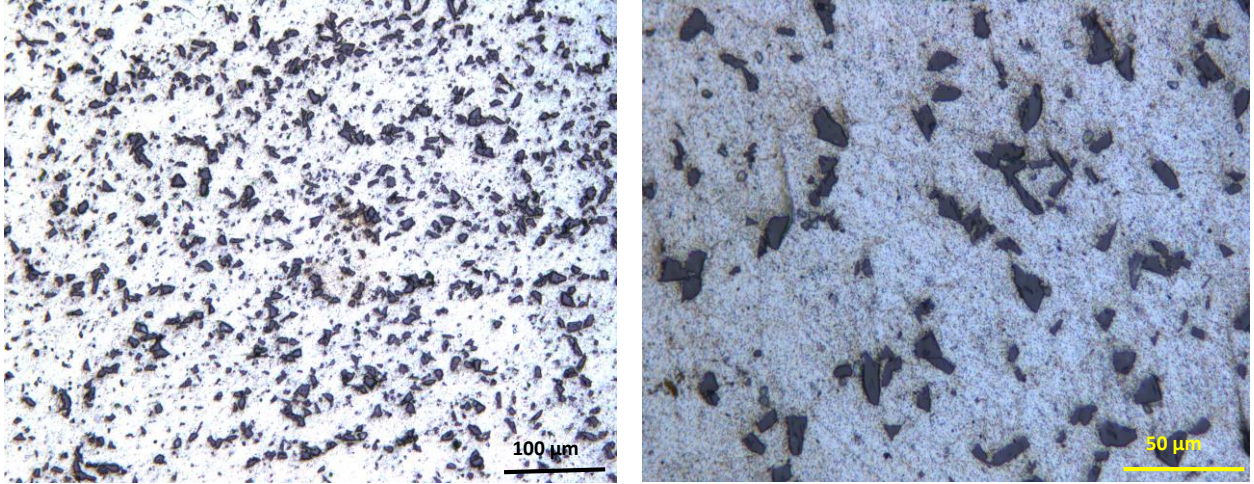
Presleme sonrası toz metal parçalar üzerinden yapılan ham yoğunluk ölçümlerinde matris yapıyı oluşturan alüminyuma göre kompozitin yoğunluğunun bir miktar azaldığı görülmektedir. Bunun en önemli sebebi kompozit tozun karıştırmaya bağlı pekleşmeden ve içerdiği SiC den dolayı kalıp içerisinde sıkıştırılabilirliğinin ve her bir toz partikülün birine mekanik olarak bağlanabilirliğinin bir miktar azalmasından kaynaklanmaktadır. Sinterleme sonrasında beklendiği gibi hem matris hem de kompozit toz metal parçaların yoğunluk değerlerinin artmış olduğu görülmektedir (Tablo 2). Aynı şartlarda sinterlenmiş olmalarına rağmen kompozit numunede matris malzemeye karşılık sinterlemeye bağlı yoğunluk artışının daha fazla olmasının sebebi mekanik karıştırma ile deforme edilen alüminyum parçacıklarındaki iç enerji artışının sinterleme sürecinde difüzyonla bağlanma mekanizmasının gerçekleşmesine pozitif katkı vermesindedir. Kompozit malzemedeki takviye elemanı konumundaki SiC'ün sinterleşmedeki engelleyici etkisine rağmen yoğunlukta bu artışın ortaya çıkması tozların karıştırılması sürecinde bilye tesiri altında şiddetli bir şekilde deforme edilmiş olmasının olumlu bir neticesi olarak değerlendirilebilir.

Tablo 2. Sertlik ve Yoğunlukta Değişim

Malzeme	Al	Al+SiC
Ham yoğunluk (%)	94,6	92,8
Sin. Sonrası yoğunluk (%)	95,3	94,8
Sin. Sonrası Sertlik (HBw)	22,3	30,9

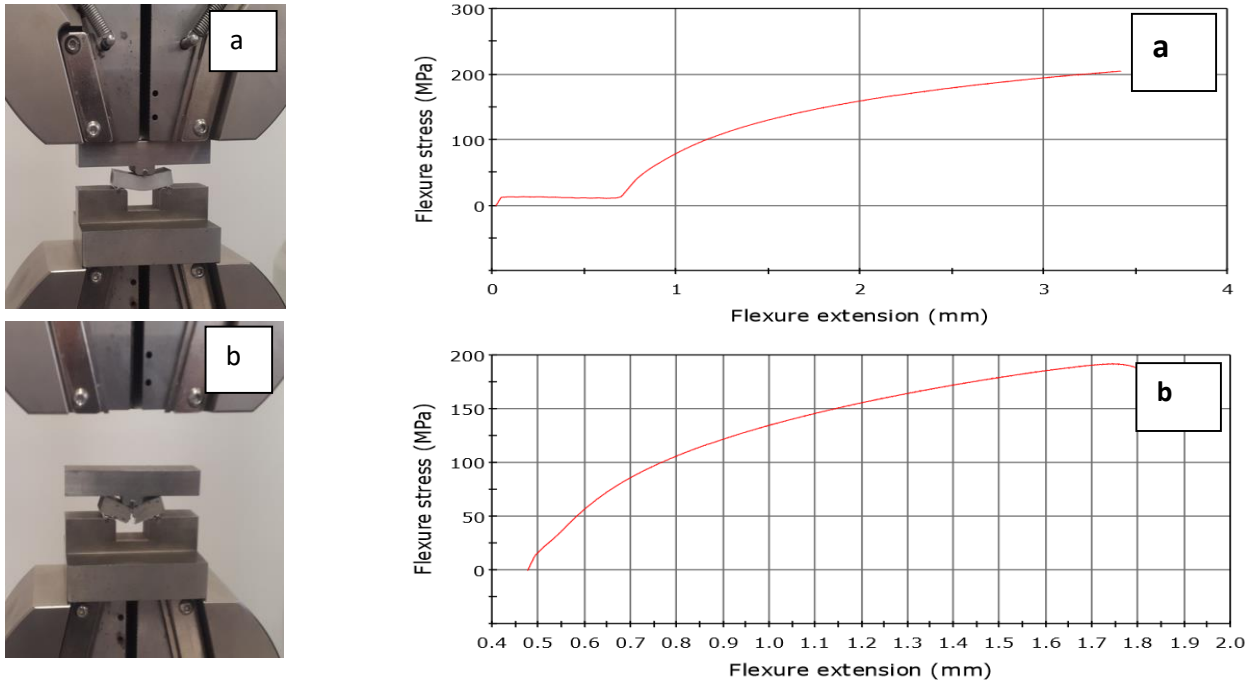
Normal olarak uygulanan presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı dikkate alındığında özellikle matris yapıyı oluşturan alüminyum tozdan elde edilen toz metal parçaların ham ve sinterleme sonrası yoğunluk değerlerinde bir miktar daha yüksek değerler beklenebilirdi. Ancak bunu engelleyen temel sebep toz metal parça üretim sürecinde özellikle alüminyum tozun kısmi oksidasyonudur. Alüminyum tozların partikül yüzeyindeki oksitlenmenin derecesi ne olursa olsun sinterleme sürecinde partiküller arası difüzyonu yani toz metal parçanın sinterlenebilirliğini olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için preslene basıncını bir miktar olması gerekenden daha yüksek tutularak yüzeydeki oksit filmini kırarak oksit tabakanın toz parçacıkları arası difüzyonla bağlanmasına olan olumsuz engelleyici tesiri bir miktar düşürülebilir.

Sertlik sonuçları matris yapıya göre % 10 SiC takviye elemanı bulunduran toz metal kompozit parçada % 38,5'lik bir artış meydana geldiğini göstermektedir. Kompozit numune yüzeyinden yapılan pek çok sertlik ölçümü sonuçları birbirine çok yakın olup, bu durum takviye elemanının matris yapı içerisinde yüksek oranda homojen şekilde dağılmış olmasının bir sonucudur. Aynı zamanda toz metal parçanın bütün kesitinde gözenek dağılımı ve sinterleşmenin homojen şekilde olması da kompozit üzerinden alınan pek çok sertlik ölçüm değerinin birbirine çok yakın olmasına sebeptir. Üretilen kompozit üzerinden yapılan mikroyapı incelemeleri bilyeli ortamda gerçekleştirilen mekanik karıştırmayla her iki tozun birbiri içerisinde ideale yakın derecede homojen şekilde karışmış olduğunu göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Takviye elemanınin matris yapı içerisindeki dağılımı

Alüminyum tozundan ve % 10 SiC içeren karışım tozdan aynı şartlarda üretilen toz metal numunelerin yapılan kırma testi sonuçları Şekil 7' ve 8'de görülmekte. Yapılan çapraz kırma testinde alüminyum toz metal parça uygulanan yük altında kırılmaktan çok eğilme davranışı göstererek deforme olmuştur. Numunenin alt destek ve üst yük uygulayıcı elemanlar harici kalıba temasına yakın konumda test sonlandırılmıştır (Şekil 7-a). Bu aşamada numunenin eğilme mukavemeti 204 MPa olarak ölçülmüştür. Alüminyum toz metal parçanın kırılma yerine sünek davranış göstererek eğilmesi kendi içinde sinterleşmenin iyi olduğunu göstermektedir. Kompozit numunede ise uygulanan yüke bağlı deformasyon miktarı azalırken 175 MPa değerinde numune kırılmıştır (Şekil 7-b). Elde edilen sonuçlar matris yapıya göre kompozit yapının eğilmeye karşı daha mukavim olduğunu göstermektedir. 175 MPa mukavemet gösterirken alüminyum toz metal parçadaki eğilme deformasyonu 2,37 mm iken bu değer kompozit numune için 1,83 mm olup, matris yapıya göre % 22,8 daha düşüktür. Elde edilen sertlik ve kırma testi sonuçları matris yapıyı oluşturan alüminyum toz metal parçaya göre % 10 SiC takviyeli kompozit numunenin mekanik özelliklerinde ciddi bir iyileşme olduğunu göstermektedir.



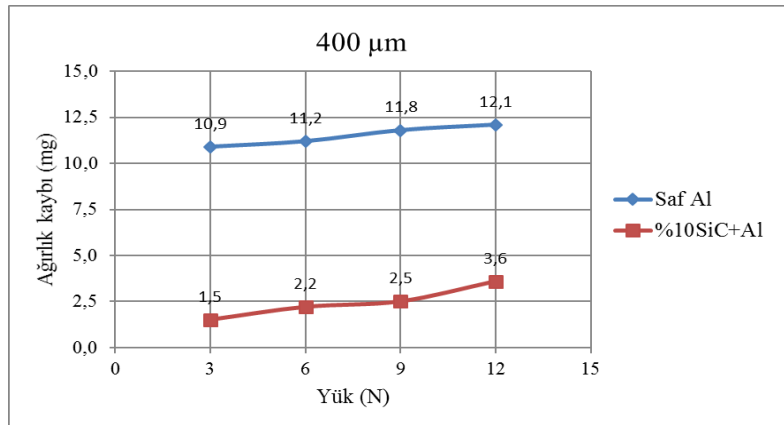
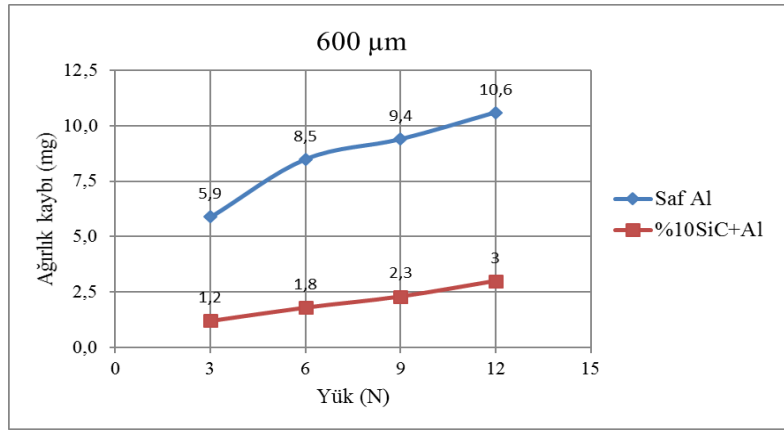
Şekil 7. Çapraz kırma testi sonuçları, a) Matris malzemesi, b) Kompozit malzeme (Al-SiC).

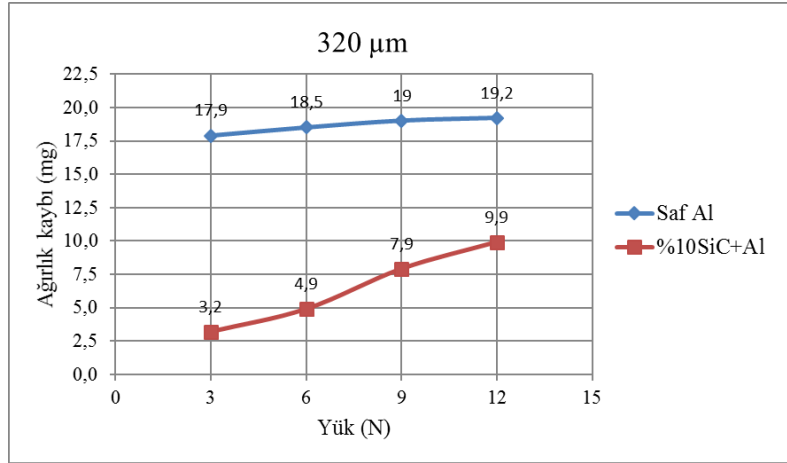
Aşınma testlerinde ilk olarak kompozitte matris yapıyı oluşturan alüminyumdan elde edilen toz metal parçanın abrasiv aşınma testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yükteki artışa paralel olarak numunelerin tamamında ağırlık kayıplarının arttığını göstermektedir (Şekil 8). Elde edilen sonuçlar yapılan benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumludur [29].

600 mesh zımpara kağıdı üzerinde yapılan aşınma testi sonunda 3 N yük altındaki aşınmaya bağlı ağırlık kaybı 5,9 mg iken bu değer 6 N için % 44 artarak 8,5 mg, 9 N için % 59,3 artarak 9,4 mg, 12 N için % 79,6 artarak 10,6 mg değerine yükselmiştir (Şekil 7-a). 400 ve 320 mesh zımpara üzerinde yapılan aşındırma testlerinde de aynı şekilde yük artışına paralel olarak aşınma değerlerinin artmış olduğu görülmekte (Şekil 8-b-c).

Uygulanan bütün yükler için elde edilen ağırlık kayıplarında aşındırıcı zımparadaki değişimin çok etkili olduğu görülmektedir. Zımpara da aşındırıcı partikül boyutu inceden kabaya giderken aşınma değerlerinde ciddi artışlar meydana gelmiştir. Örneğin, 600 mesh zımparada 12 N yük altında 10,6 mg aşınma olurken, aynı yük altında 400 mesh zımparada % 14,1 artarak 12,1 mg, 320 mesh zımparada % 81,1 artarak 19,2 mg değerine yükselmiştir.

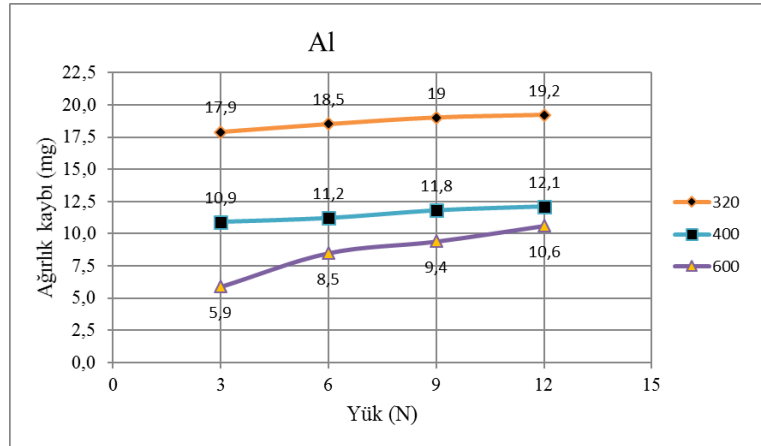
%10 SiC takviyeli kompozit malzemede aynı şartlar altında gerçekleştirilen testler sonucu elde edilen ağırlık kayıpları uygulanan yük artarken veya aşındırıcı zımpara inceden kabaya giderken aşınma kayıplarının ciddi olarak arttığı görülmektedir. Ancak matris yapıyı oluşturan alüminyum tozdan elde edilen toz metal parçanın ve %10 SiC içeren toz metal kompozit parçanın ağırlık kayıpları karşılaştırıldığında kompozit malzemenin aşınma değerlerinde ciddi bir azalma olduğu görülmektedir. Örneğin 12 N yük altında yapılan aşınma testleri sonrası alüminyuma göre kompozit malzemenin aşınma kaybı değerlerinde 600 mesh zımparada %71, 400 mesh zımparada % 70 ve 320 mesh zımparada % 48,4 azalma görülmüştür (Şekil 8).





Şekil 8. Yükteki artışa ve aşındırıcıya bağlı aşınma kayıplarındaki değişim

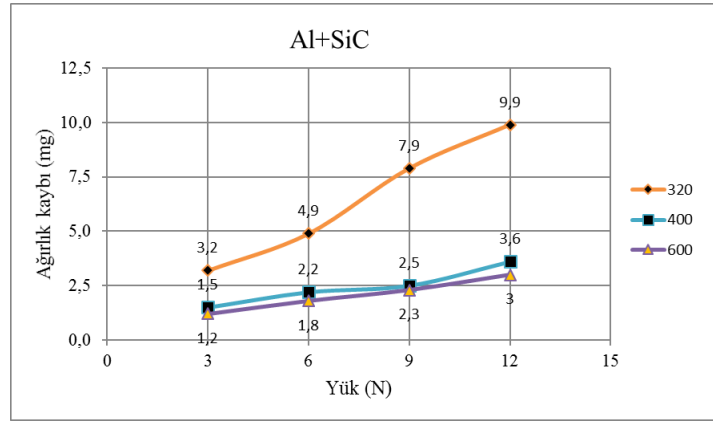
Yükteki artışa veya zımpara kağıdındaki aşındırıcı partikül boyut değişimine göre alüminyum ve kompozit numunelerin aşınma değerlerindeki değişim Şekil 9 ve 10'da görülmektedir. Elde edilen sonuçlar matris yapıyı oluşturan alüminyumdan elde edilen toz metal parçaya göre % 10 SiC takviyeli kompozit numunelerde abrasiv aşınma direnci bakımından ciddi bir iyileşme olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. Matris malzemedeki yüke bağlı aşınma kayıplarındaki değişim

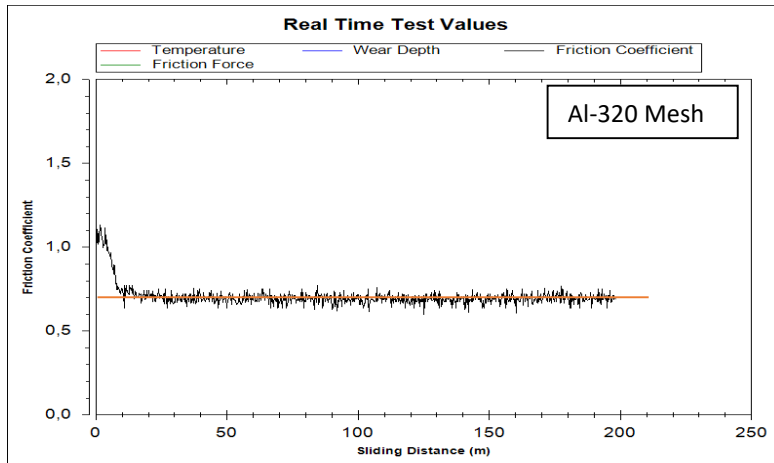
Kompozit malzemedeki yükteki artışa bağlı ağırlık kayıplarındaki değişimin aynı zamanda aşındırıcı ortama göre de farklılık gösterdiğini söyleyebiliriz. 320 mesh zımparada yük artarken aşınma değerleri yüksek oranda artış göstermektedir. Fakat 400 ve 600 mesh zımpara kağıtlarında yükteki artışa karşılık aşınma kayıplarındaki artışın daha düşük oranlarda olduğu görülmektedir. Bunun sebebi aşınma ile açığa çıkan atıkların aşındırma yolundaki aşındırıcının performansına olan etkisiyle açıklanabilir. Kaba zımpara yüzeyleri yüksek aşındırma etkisini yükteki artışa bağlı olarak devam ettirirken ince zımpara yüzeylerinde aşınmanın başlangıcında atıkların aşındırıcının yüzey pürüzlülüğünü azaltma etkisinden dolayı yükteki artışa rağmen beklenen ölçüde aşınma kayıpları ortaya çıkmamıştır (Şekil 10).

320 mesh zımparaya göre 400 ve 600 mesh zımpara yüzeylerinin testin başlangıcına oranla testinde ilerleyen aşamalarında aşındırma etkisinin kademeli olarak azaldığını söyleyebiliriz. Özellikle kompozit numunelerde SiC takviye elemanı aşındırıcı yüzeyi tahrip ederken matris yapı ise aşındırma yüzeyine dolarak veya sıvanarak aşındırıcı yüzeyin aşındırma etkinliğini azaltmaktadır.

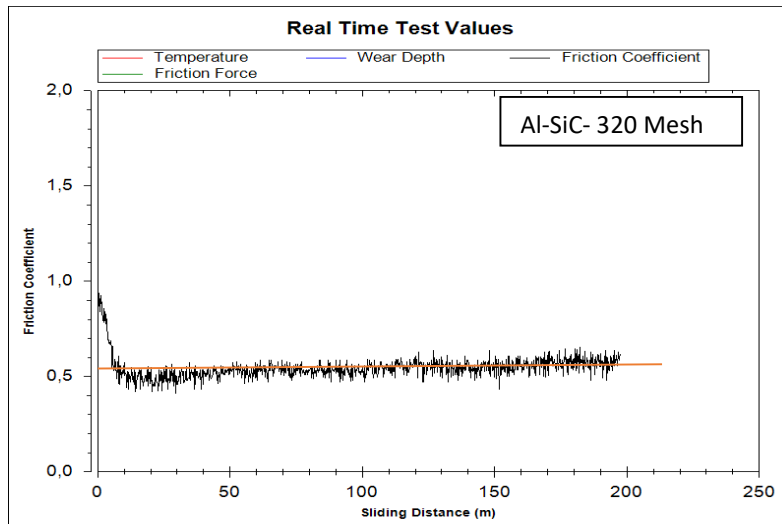


Şekil 10. Kompozit (Al-SiC) malzemede yüke bağlı aşınma kayıplarındaki değişim

Alüminyum toz metal parçanın aşınma testlerinde elde edilen sürtünme katsayısı değerleri 320; 400 ve 600 mesh zımparalar için sırayla 0,70; 0,65 ve 0,50 olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşındırıcı zımpara yüzeyi kabalaşırken aşınma katsayısı değerinin arttığını göstermektedir (Şekil 11). Kompozit numune üzerinden aynı şartlarda elde edilen aşınma katsayısı değerini 320; 400 ve 600 mesh zımparalar için sırayla 0,52; 0,52 ve 0,50 olarak ölçülmüştür. Elde edilen aşınma katsayısı değerleri alüminyum toz metal parçaya göre %10 SiC takviyeli toz metal kompozit parçanın aşındırılması sırasında sürtünme katsayısı değerlerinin ciddi olarak düştüğünü göstermektedir. Bu sonuçlar alüminyum ve kompozitin aşınma ağırlık kayıplarıyla da uyumludur (Şekil 12).

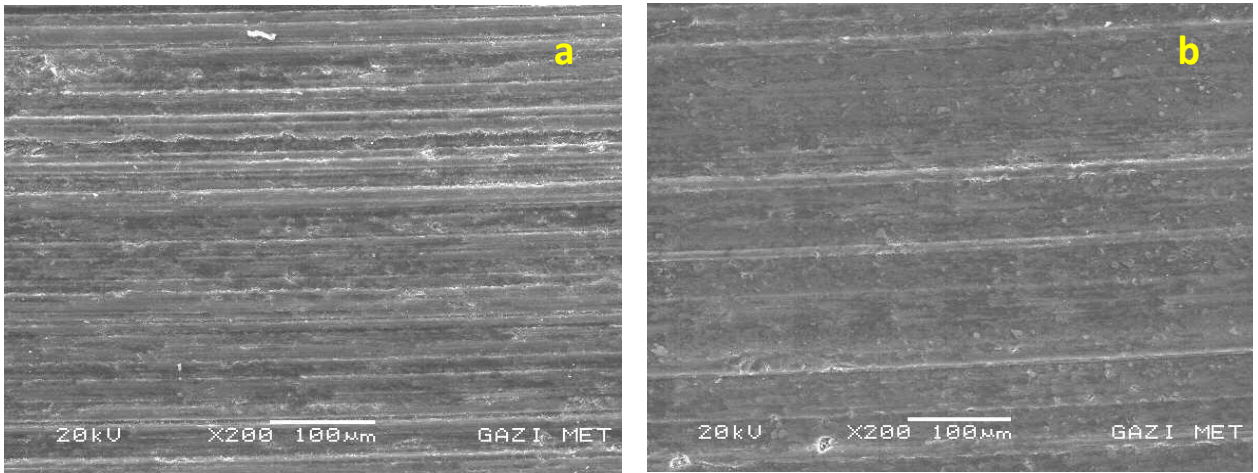


Şekil 11. 12 N Yük altında matris malzemenin aşınmasında sürtünme katsayısındaki değişim.

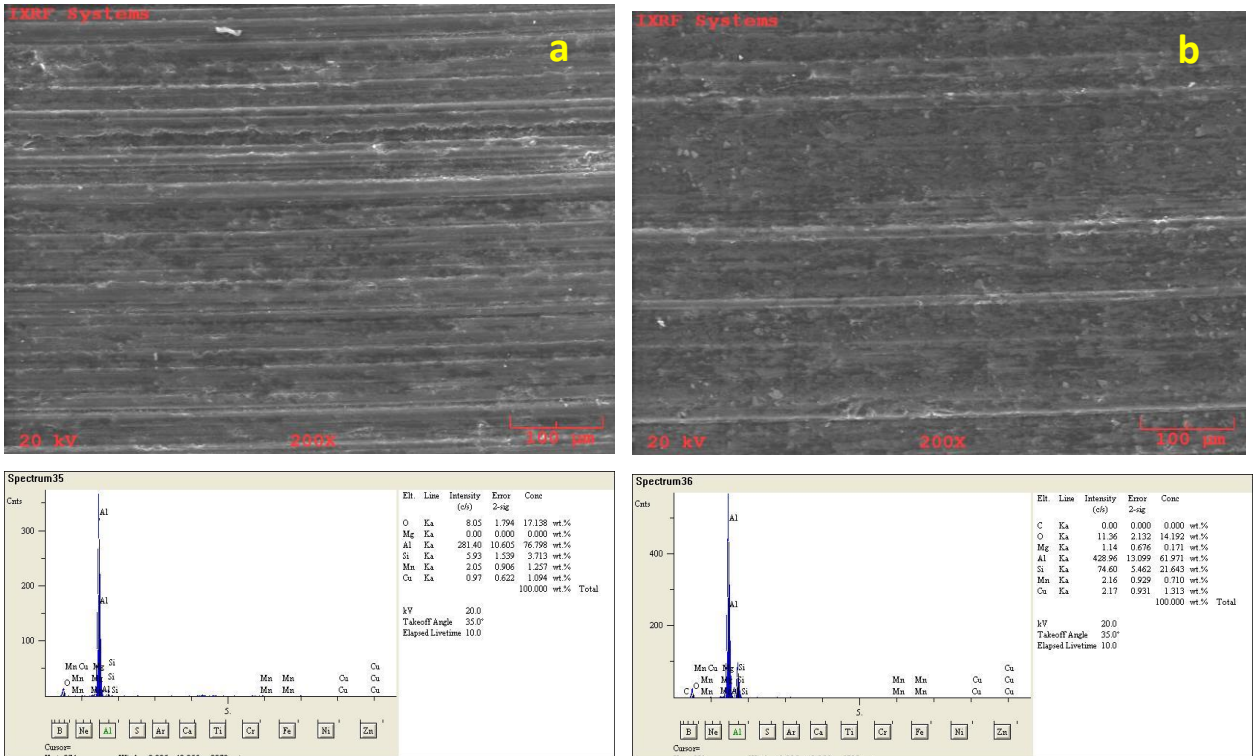


Şekil 12. 12 N Yük altında kolpozitin sürtünme katsayısı

Aşınan matris malzeme yüzeyinden alınan SEM görüntüleri abrasif aşınma mekanizmasının gerçekleştiğini göstermektedir. Aşındırma izlerinin sürekliliği ve genişliği yoğun bir aşınmanın ve malzeme kaybının olduğunu göstermektedir (Şekil 13-a). Yük artarken ve aşındırıcı zımpara 600 den 320 mesh'e giderken aşınma kayıpları artmaktadır. Kompozit malzemede ise aşınan yüzeydeki aşınma çizgileri homojen ve iz derinlikleri ve genişlikleri daha düşüktür. Ayrıca iz sürekliliği de sıklıkla kesintiye uğrayarak malzemenin yüzeyinde aşınma izlerinin matris malzemede olduğu gibi sürekli olmadığı görülmektedir (Şekil 13-b). Bu görüntü abrasif aşınmaya karşı takviye elemanının engel oluşturarak kompozit malzemede aşınmaya bağlı ağırlık kayıplarının düştüğü anlamına gelmektedir. Kompozit malzemede bütün yükler altında ve farklı aşındırıcı zımparalarda alüminyum toz metal parçaya göre aşınma kayıplarında çok ciddi azalmalar görülmüştür. Elde edilen sonuçlar SiC takviyesi ile alüminyum malzemenin sertlik, kırılma mukavemeti ve abrasif aşınma direncinde önemli iyileşmeler gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 13. 12 N yük altında ve 320 Mesh zımpara üzerinde matris ve kompozit parçaların aşınan yüzey görünümü.



Şekil 14. Matris ve kompozit numunelerin aşınan yüzeylerinin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları

Matris malzemesinin 2 N yük altında 320 mesh SiC zımpara üzerinde yapılan aşındırma testi sonrası numune yüzeyinden alınan XRF sonuçları şekil 14-a'da görülmektedir. Sonuçlar matris malzemesinde bulunan alaşım elementleri yanında sürtünmeye bağlı numune yüzeyinde oksitlenme olduğunu göstermekte. Kompozit numunede kompozitte bulunan SiC etkisiyle silisyum değeri % 21, 64 olarak görülmektedir. Silisyumun miktarı SiC'ün matris yapı içerisindeki dağılımına bağlı olarak değişim gösterebilmekte.

4. GENEL SONUÇLAR (CONCLUSION)

1. Bilyeli ortamda turbula cihazında yapılan karıştırma ve öğütme işlemiyle alüminyum ve SiC tozların birbiri içerisinde homojen dağılımı başarıyla gerçekleştirilmiştir.
2. Üretilen toz metal kompozit malzemede matris yapıyı oluşturan alüminyum toz metal parçaya göre % 30,9 sertlik artışı elde edilmiştir.
3. Çapraz kırılma testlerinde kompozit malzeme kırılma, alüminyum toz metal parça eğilme davranışı gösterirken, kompozit malzemede deformasyona karşı mukavemet artışı görülmektedir.
4. Aşınma test sonuçlarına göre matris yapıya ilave edilen ağırlıkça % 10 SiC kompozit malzemenin matris yapıya göre bütün yükler altında ve farklı aşındırıcılarda % 48,4 ile % 79,6 aralığındaki oranlarda aşınmaya bağlı ağırlık kayıplarında azalmaya sebep olmuştur.
5. Sıcak presleme ile üretilen kompozit malzemeler kadar olmasa da mevcut uygulama ile matris malzemeye göre kompozit malzemede hedeflenen yoğunluk, sertlik ve abrasiv aşınma mukavemeti değerlerine önemli ölçüde iyileştirmeler sağlanabilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] William, C., Harrigan, Jr., "Commercial processing of metal matrix composites", Materials Science and Engineering, A244: 75 - 79, 1998.
- [2] Rosso M. "Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties", Journal of Materials Processing Technology, 175: 364 - 375, 2006.
- [3] Kırmızı, G., Arık, H., Çinici, H., "Experimental study on mechanical and ballistic behaviours of silicon carbide reinforced functionally graded aluminum foam composites", Composites Part B, 164: 345 - 357, 2019.
- [4] Deuis, R.L., Subramanian, C., Yellup, J.M., "Abrasive wear of aluminium composites - a review", Wear, 201: 132 - 134, 1996.
- [5] YU, P., Mei, Z., Tjong, S.C., "Structure, thermal and mechanical properties of in situ Al-based metal matrix composite reinforced with Al₂O₃ and TiC submicron particles", Materials Chemistry and Physics, 93: 109-116, 2005.
- [6] Miracle, D.B., "Metal matrix composites - from science to technological significance", Composites Science and Technology, 65: 2526 - 2540, 2005.
- [7] Smagorinski, M.E., Tsantrizos, P.G., Grenier, S., et all., "The properties and microstructure of Al - based composites reinforced with ceramic particles", Materials Science and Engineering, A244: 86 - 90, 1998.
- [8] Kaczmar, J.W., Pietrzak, K. W., Wlosinski, W., "The production and application of metal matrix composite materials", Journal of Materials Processing Technology, 106: 58 - 67, 2000.
- [9] Donnell, G.O., Looney, L., "Production of aluminium matrix composite components using conventional PM technology", Materials Science and Engineering, A303: 292 - 301, 2001.

- [10] Kök, M., “Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle - reinforced 2024 aluminium alloy composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 161: 381 - 387, 2005.
- [11] Şahin, Y., “Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloy composites”, *Materials and Design*, 24: 671 - 679, 2003.
- [12] Bedir, F., “Alüminyum kompozitlerin üretimi, karakteristik özellikleri ve endüstriyel uygulamaları”, *Mühendis ve Makine*, 47: 554, 28 - 35 2006.
- [13] Ekinci, V.Ş., Bağcı, C., Arık, H., “Effect of Al₂O₃ content and milling time on microstructure and mechanical properties of aluminum metal matrix composites”, *Experimental Techniques*, 38: 66 - 73, 2011.
- [14] Kurt, H., Arık, H., Bağcı, C., “Abrasive wear, structure, and mechanical aspects of Al-Al₂O₃ composites fabricated using various mixing media during P/M routes”, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 55: 3 - 4, 141-151, 2016.
- [15] Singh, R.K., Telang, A., Das, S., “High stress abrasive wear behaviour of aluminium ally and composite: A Review”, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10: (18), 8025 - 8037, 2015.
- [16] Vencl, A., Rac, A., Bobic, I., Miskovič, Z., “Tribological properties of Al-Si alloy A356 reinforced with Al₂O₃ particles”, *Tribology in industry*, 28: (1&2), 27 - 31, 2006.
- [17] Londhe, V.D., Mhaske, M.S., Kapgate, R.A., “Evaluation of tribological behaviour of LM13 – silicon carbide composite under ambient & elevated temperature”, *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 3: (3), 334 - 340, 2014.
- [18] Naveen Kumar, G., Mahidhar Reddy, V., et all. “Study of abrasive wear behavior of AA 6063/TiCp in-situ composites”, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8: (5), 42 - 52, 2017.
- [19] Rao, Ch.M. Rao, K.M., “Abrasive wear behavior of TiB₂ fabricated aluminum 6061”, *materials today: proceedings*, 5: 268 - 275, 2018.
- [20] Samarai, R. A. A., Ahmad, K. R., Douri, Y.A., “Effect of load and sliding speed on wear and friction of aluminum-silicon casting alloy”, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2: (3), 1 - 4, 2012.
- [21] Şahin, Y., “Abrasive wear behaviour of SiC/2014 aluminium composite”, *Tribology International*, 43: 939-943, 2010.
- [22] Kumar, G.B.V., Rao, C.S.P. Selvaraj, N., “Studies on mechanical and dry sliding wear of Al6061–SiC composites”, *Composites: Part B*, 43: 1185-1191, 2012.
- [23] Ahemad, J, Bhaskar, S.V., et all. “Development of Al/SiC 5%, Al/SiC 10%, Al/SiC 15%, metal matrix composite and its comparision with aluminium alloy – LM25 on tribological parameters”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3: (9), 545-549, 2013.
- [24] Arık, H., Orhun, D.Z., “Investigation of dry sliding wear beaviour of powder metal (P/M) materials produced from mixture of Fe-Cu-C powders”, *G.Ü. J. Sci, Part A*, 5(1): 37-48, 2018.
- [25] Yıldız, T., Gür, A.K., “Wear mechanism” *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 86-91, 2006.

- [26] Abhik, R., V, U., Xaviora, M. A., “Evaluation of properties for Al-SiC reinforced metal matrix composite for brake pads”, *Procedia Engineering*, 97: 941 - 950, 2014.
- [27] Arik, H., “Production and characterization of in situ Al_4C_3 reinforced aluminumbased composite produced by mechanical alloying technique”, *Materials and Design*, 25: 31- 40, 2004.
- [28] Özeker, M.B., Arik, H., Özçatalbaş, Y., “Investigation of wear behaviour of aluminium matrix and B_4C reinforced composite powder metal parts produced by hot pressing method”, *The Internatinonal Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Cappadocia/Turkey*, June 21-23 2019.
- [29] Dixit, G., Khan, M.M., “Sliding Wear Response of an Aluminium Metal Matrix Composite: Effect of Solid Lubricant Particle Size”, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 8: 351-358, 2014.

Conversion of the manual generator to the automatic generator and its remote monitoring

 Nihat DALDAL^{1,*} İbrahim ŞEREMET²
^{1,2}Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Electrical Electronics Engineering, 06374, Golkoy/BOLU

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 29/06/2019

Revision: 25/08/2019

Accepted: 29/08/2019

Highlights

- Generator Conservation
- Generator Automatic Start
- Generator Remote monitoring

Keywords

Generator, Manual Generator, Automatic Generator, Remote Monitoring

In this study, the conversion of manually worked low power generators to automatic generators at low cost was realized, and remote monitoring of the generators and information in the network has been provided. The system is primarily designed to automate manual operation, and a microcontroller-based control system is developed for this purpose. Thus, automatic generator installation has been carried out at cheaper cost. In the other stage of the study, data is sent to the internet by communicating with the system board with ENC2860J ethernet module microcontroller in order to monitor voltage and frequency values on the network and generator remotely.

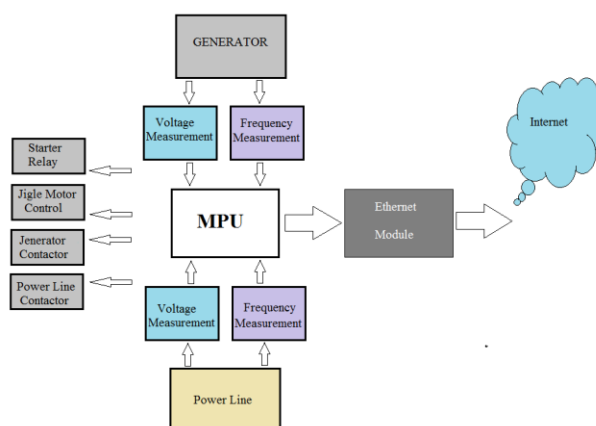


Figure A. The block scheme of the system

Purpose: In this study, a system was designed and implemented so that a manually operated generator could be operated automatically in the event of power outages. In addition, the generator data was monitored remotely.

Theory and Methods: In this study, the structure of the manual generator was examined first. The structure needed to run automatically has been laid out. For this reason, the power line voltage is continuously monitored and automatic operation steps are applied in case of power failure. In addition, according to the state of the power line, continuous transfer between the generator and the network is provided.

Results: As a result of the study, at a cheaper cost than very high-priced automatic generators, the manual generator was activated in the range of about 7-10 seconds in a power failure and its data was monitored remotely. The system was successfully installed and tested in a business.

Conclusion: In this study, the integration of the 5kW manual generator into the power grid was successfully designed. At a very low cost, the system was installed and tested, which automatically activated in the event of power failure and which monitored the generator data remotely. By increasing the type of data in remote monitoring, possible failures can be taken in advance.



Manuel Jeneratörün Otomatik Jeneratöre Dönüştürülmesi ve uzaktan İzleme

Nihat DALDAL^{1,*} İbrahim ŞEREMET²

^{1,2}Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Electrical Electronics Engineering, 06374, Golkoy/BOLU

Öz

Enerji kesintisinde enerji devamlılığının sağlanması bakımından jeneratörler günümüzde çok kullanılan en önemli aygıtlardan biridir. Jeneratörler manuel olarak çalıştırılabildiği gibi, şebeke gerilimi kesildiği anda otomatik olarak devreye giren türleri de mevcuttur. Kesinti durumlarında enerji ihtiyacının acilen karşılanması için jeneratörlerin otomatik olarak devreye girmesi önemlidir ancak manuel çalıştırılan jeneratörlere göre bu tür jeneratör fiyatları oldukça yüksektir.

Bu çalışmada manuel olarak çalıştırılan düşük güçlü jeneratörlerin düşük maliyetle otomatik çalışır jeneratöre dönüştürülmesi gerçekleştirilmiş ve jeneratörler ve şebekedeki bilgilerin uzaktan izlenmesi sağlanmıştır. Sistemde öncelikle manuel çalışmayı otomatikleştirecek yapı anlatılmış ve bunun için mikrodenetleyici tabanlı kontrol sistemi geliştirilmiştir. Böylelikle daha ucuz maliyette otomatik jeneratör kurulumu gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın diğer aşamasında ise şebeke ve jeneratör üzerindeki gerilim ve frekans değerlerini uzaktan izleyebilmek için ENC2860J ethernet modülü mikrodenetleyicili sistem kartı ile haberleştirilerek verilerin internet ortamına gönderimi sağlanmıştır. Uzaktan bu değerleri takip edebilmek için modem üzerinde alınacak olan IP adresi ile yerel ağda bilgilerin izlenmesi gerçekleştirilmiş daha sonra Mathswork'un entegrasyonu olan ThingSpeak adı verilen bir internet sitesinde kullanıcı hesabı oluşturularak jeneratör ve şebeke değerlerini uzaktan izleme gerçekleştirilmiş ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Conversion of the manual generator to the automatic generator and its remote monitoring

Abstract

Generators are one of the most important devices used today in terms of ensuring energy continuity in the power outage. Generators can be manually operated, as well as automatically activated types are available as soon as the network voltage is breakdown. It is important that generators are automatically activated to meet the energy needs urgently in case of interruption, but according to manually operated generators such generator prices are quite high. In this study, the conversion of manually worked low power generators to automatic generators at low cost was realized and remote monitoring of the generators and information in the network has been provided. The system is primarily designed to automate manual operation and a microcontroller-based control system is developed for this purpose. Thus, automatic generator installation has been carried out at cheaper cost. In the other stage of the study, data is sent to the internet by communicating with the system board with ENC2860J ethernet module microcontroller in order to monitor voltage and frequency values on the network and generator remotely. In order to remotely monitor these values, the IP address to be received on the modem and the information on the local network were monitored, then a user account was created on a website called ThingSpeak, which is the integration of Mathswork, and remote monitoring of the generator and network values has been carried out and successfully implemented.

Makale Bilgisi

Başvuru: 29/06/2019

Düzeltilme: 25/08/2019

Kabul: 29/08/2019

Anahtar Kelimeler

Jeneratör, Manuel
Jeneratör, Otomatik
Jeneratör, Uzaktan İzleme

Keywords

Generator, Manual
Generator, Automatic
Generator, Remote
Monitoring

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen dünyada elektrik insanlar için vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Elektrik dağıtımı ve kullanımı sırasında yaşanan problemler nedeniyle insanların elektriğe olan ihtiyacını devam ettirebilmek için jeneratörlere olan ihtiyaç artmıştır. Konutlarda, iş yerlerinde, fabrikalarda enerji devamlılığının sağlanabilmesi için ihtiyaç duyulan enerji değeri hesaplanarak farklı güç ve tipte otomatik jeneratörler seçime bağlı olarak üretilmektedir. Seçilen bu jeneratörlerin kullanımı süreleri parametre değerleri, arıza detayları, bakım periyotlarını uzaktan izlemek kullanıcıya maliyeti arttırmaktadır [1-2].

Özellikle de jeneratör fiyat kıyaslaması yapıldığında manuel yani enerji kesintisinde kullanıcı tarafından devreye alınan jeneratörler yaklaşık 5000-10000 TL aralığında fiyatlandırma yapılırken, enerji kesintisinde kullanıcıdan bağımsız ,otomatik olarak devreye giren jeneratör fiyatları 30.000-50.000 TL aralığında değişmektedir [3]. Kullanıcının müdahalesi olmaksızın düşük maliyetle temin edilen bir jeneratörün enerji kesintisinde otomatik olarak devreye girmesini sağlamak çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

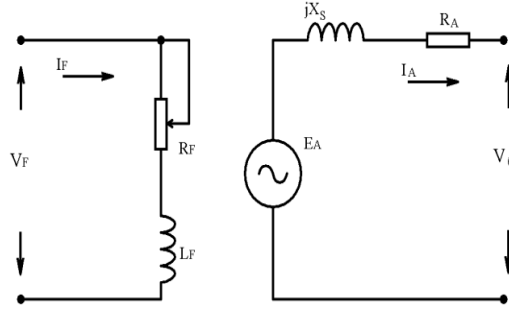
Jeneratörler üzerine yapılan az sayıdaki çalışmalarda;

Gaby Abou Haidar ve Roger Achkar vd. (2014), Jeneratörlerdeki değişkenlerin yağ, sıcaklık, gerilim ve akım günlük olarak izlenerek kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada akıllı telefon işletim sistemi olan android tabanlı yazılım kullanılarak elektrik jeneratörlerini kablosuz olarak uzaktan izlemeyi amaçlamaktadır [2]. Piotr Podsiadly ve Bartłomiej Swiercz, Slawomir Wróblewski vd.(2009), Güç jeneratörlerinin durumunun uzaktan izlenmesi için mobil uygulama geliştirmişlerdir. Bu uygulama Symbian OS tabanlı cep telefonları üzerinde Python yazılım dili kullanılarak geliştirilmektedir. Jeneratörlerin durumlarının ne olduğunu bulmak için önce sensörler aracılığı ile titreşimler ölçülmekte ve makinenin durumuna ilişkin göstergeler hesaplanmaktadır [3]. Richard A. Evans, (1990) Senkron bir jeneratörü bir elektrik sistemine senkronize etmede kritik delta faz açısı, delta frekansı, delta gerilim büyüklüğü gibi parametreler mevcuttur. Bu üç kritik parametre için manuel/otomatik senkronizasyon devre tasarlanmıştır. Hem manuel hem de otomatik devreler için koruma devresi ile beraber tasarlanmıştır [4]. Ayrıca Senkron jeneratörlerin benzetimi, modeli, kontrolü, paralel bağlanması ve parametrelerinin bulunması ile ilgili olarak literatürde çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır [5-9].

Bu çalışmada manuel çalışan jeneratörlerin otomatik jeneratöre çevrilmesi ve üzerindeki gerilim ve frekans değerlerinin uzaktan takip edilmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışmalarda genellikle jeneratörlerin üzerindeki gerilim ve diğer parametrelerin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi irdelenmiştir. Manuel jeneratörlerin fiyatlarının otomatik jeneratörlere göre çok ucuz olması ve benzer bir çalışmanın yapılmış olması, daha düşük maliyetli otomatik jeneratör elde etme fikri çalışmanın amaçlarından biridir. Ayrıca uzaktan izleme programı olan Thing Speak IoT' ile jeneratör verileri uzaktan izlenmiş ve belirli zaman aralıklarında verilere ait grafilendirme sağlanmıştır.

2. MANUEL JENERATÖR YAPISI (MANUEL GENERATOR STRUCTURE)

Manuel jeneratörler enerji kesintisinde kullanıcı tarafından çalıştırılan jeneratörlerdir. Kumanda panosundan jeneratör ON konumuna alındığında marş motoru akülerden aldığı enerjiyi elektrik enerjisini kullanarak dizel motorun ilk çalışması için yakıt pompalanmaya başlamaktadır. Bu jeneratörlerde, hava karışımının sağlanması amacıyla jikle kolu bulunmaktadır. Özellikle jeneratör çalışmasını kolaylaştırmak için jikle kolu belirli oranda çekilmelidir.



Şekil1. 1 Faz Jeneratör eş değer devresi

Motor çalıştıktan sonra faraday yasasına göre değişken manyetik alan içerisindeki kalan stator sargılarında gerilim indüklenmektedir. İndüklenen bu gerilim sarım sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Üretilen gerilimin sabit olması için stator sargılarına gerilim regülatörü bağlanmaktadır. Şekil 1’de manuel çalıştırılan bir jeneratörün eşdeğer devresi görülmektedir [10-12].

Jeneratörlerde, çıkış frekansı;

$$f_e = \frac{n_m \cdot P}{120} \quad 1$$

Formülü ile hesaplanır. Burada rotor dönüş hızı ve kutup sayısı çıkış frekansını belirler. Stator fazında indüklenen gerilim genliği;

$$E_A = K \cdot \Phi \cdot \omega \quad 2$$

Denklemler ile ifade edilirken, indüklenen gerilimin doğrudan akı ve hız ile orantılı olduğu görülmektedir.

Sargı uçlarındaki gerilim ise;

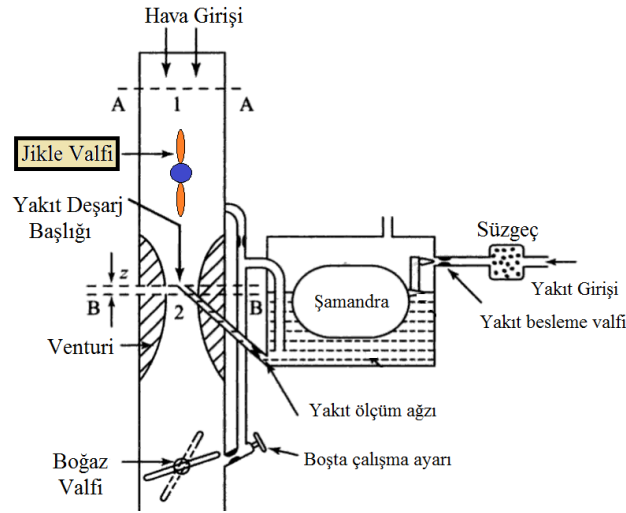
$$V_\phi = E_A - jX_s I_A - R_A I_A \quad 3$$

eşitliğine bağlıdır. Burada Çıkış gerilimini X_s (senkron reaktans), I_A (endüvi akımı) ve R_A (endüvi sargı direnci) belirler [1,13].

Manuel jeneratör çalışması için gerekli adımlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Manuel jeneratörün üzerinde start-stop butonu ve jikle bulunmaktadır.
2. Elektrik kesildiğinde (hava şartlarına bağlı olarak değişir) jikle kolu ve butonu çekilmektedir ve marş butonuna basılmaktadır.
3. Marş butonuna basıldıktan sonra jeneratör çıkış verirse jeneratör çalışmaktadır.
4. Eğer jeneratör çıkış vermemiş olursa stop butonuna basılır ve işlemler tekrar başa döner.
5. Jeneratör çalıştırdıktan sonra yakıt tüketiminin azalması için jikle kolu tekrar eski durumuna getirilir [14].

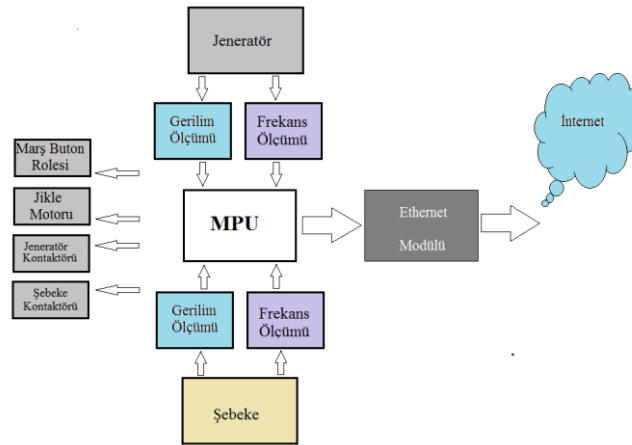
Jikle soğuk havalarda motoru çalıştırmak için gerekli olan hava-yakıt karışımını ayarlanmasını sağlayan popüler yöntemlerden biridir. Temel bir karbüratördeki jikle yapısı Şekil 2’de görülmektedir. Havalarda çok soğuk olması durumunda hava-yakıt karışımı motorda düzgün çalışmamakta veya motor hiç çalışmamaktadır. Bu yüzden jikle kolu çekildiğinde yakıt hava ile daha iyi oranda karışarak yanması gerçekleşir ve motorun çalışmasını kolaylaştırır [15]. Jikle karbüratörün ağzında gerektiğinde içeri giren havayı kontrol eden bir mekanizmadır.



Şekil 2. Temel Karbüratör ve Jikle Yapısı

3. OTOMATİK JENERATÖRE DÖNÜŞÜM METODU (AUTOMATIC GENERATOR CONVERSION METHOD)

Manuel bir jeneratörü enerji kesintisinde otomatik çalışarak devreye girmesini sağlayan sisteme ait blok diyagram Şekil 3’ te görülmektedir. Blok şemadan görüleceği gibi, marş butonuna basılması için mikrodenetleyici role çıkışı ile marş butonunu kısa devre etmektedir. Jikle motoru için bu uygulamada redüktörlü DC motor kullanılarak jiklenin jeneratör çalıştırmadan önce bir miktar çektilmesi sağlanmıştır. Şebeke ve jeneratör çıkışının gerilimlerinin ölçülmesi için ve frekansının ölçülmesi için çalışma devamında anlatılan elektronik yapılar kullanılmıştır.



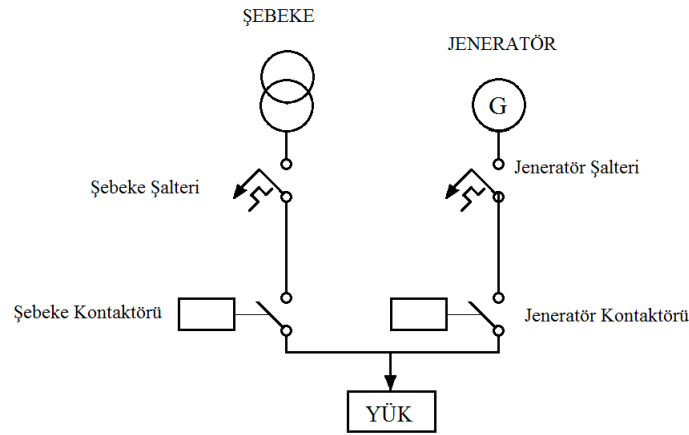
Şekil 3. Önerilen otomatik sistem blok diyagramı

Çalışmada gerekli kontrolü sağlayacak mikrodenetleyici programını ilgili adımları aşağıdaki şekilde gerçekleştirmelidir.

- 1- Jeneratör, şebeke enerjisini sürekli izlemelidir.
- 2- Elektrik kesildiğinde 5 sn bekler. 5 sn sonunda jikle motorunu çalıştırıp jikle motoru çalıştırdıktan sonra marş butonunu 3 sn aktif eder. Jeneratör çıkış verirse jeneratör çalışma durumuna geçer.
- 3- Eğer jeneratör çıkış vermezse stop butonuna basılıp bir süre beklenir. Ve 2.adım tekrar gerçekleştirilmektedir.

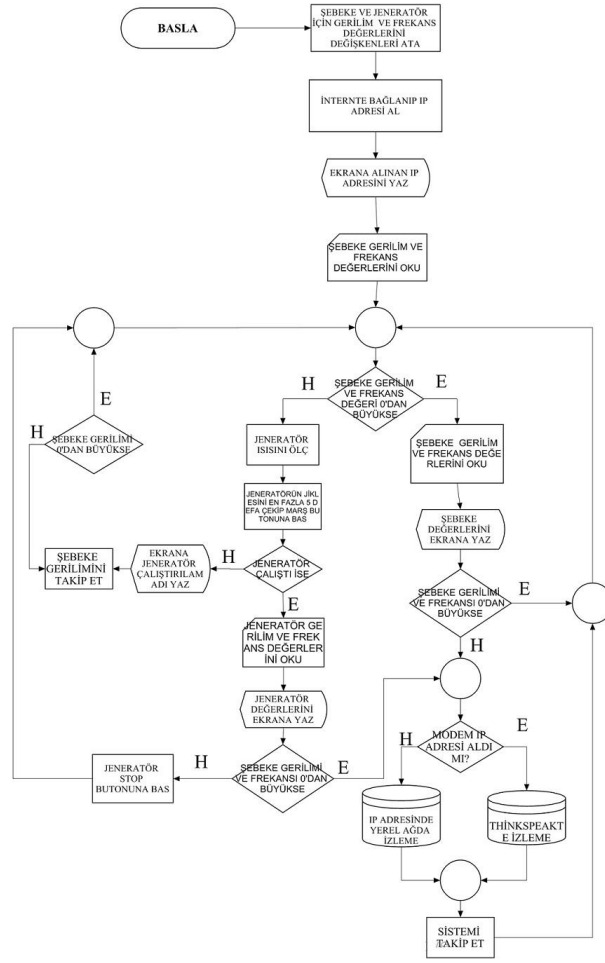
- 4- Bu döngü, yazılımda kullanıcının belirleyeceği sayıya kadar devam etmektedir. Jeneratörü çalıştırmada istenilen deneme sayısına ulaşıldığında jeneratörün çalıştırılması için uygulanan adımlar sonlandırılır.
- 5- Denemeler sonucunda jeneratörden bir çıkış gerilimi elde edilemediğinde sistem arıza ikazı verip jeneratörün çalışmadığını kullanıcıya bildirir. Bu durumda akü durumu ve yağ veya yakıt durumu kullanıcı tarafından kontrol edilmelidir.
- 6- Jeneratör çıkışında bir gerilim okunduğunda jeneratör çalışır duruma geçmiştir. Bu durumda jikle kolu tekrar eski konuma alınarak jeneratörün fazla yakıt yakması önlenir.
- 7- Şebeke enerjisi tekrar geldiğinde 5 saniye (yazılımın durumuna göre değişiklik gösterilebilir eğer istenirse 1 dakika kadar beklenebilir.) beklenmektedir. Bu süre sonunda stop butonuna basılmaktadır. Burada amaç şebeke enerjisinin anlık gelmesi ya da tekrarlamalı kesilmelerin kontrol edilmesidir. Böyle bir durumda sürekli olarak jeneratörün devreye girme, devreden çıkma gibi çalışma durumunun önüne geçilip, jeneratörün de korunması sağlanır.
- 8- Jeneratör devrede iken jeneratöre ait kontaktör aktiftir ve bu kontaktör üzerinden enerji sağlanır. Şebeke enerjisinin gelmesi durumunda belirli süre sonunda jeneratör kontaktörü pasif edilir ve şebeke kontaktörü devreye girer.

Enerji şebekesi ve jeneratörün dönüşümlü olarak sisteme girmesini sağlayan yapılara transfer panosu adı verilir. Bu panolarda ana bağlantı Şekil 4'te görüldüğü gibi yapılır. Bu yapı için tasarlanan sisteme 2 adet fazla role eklenerek roller üzerinden kontaktörler aktif edilmektedir. Ayrıca elektronik kontrol sisteminin daha sağlıklı çalışması amacıyla pano girişine filtre eklenmiştir.



Şekil 4. Şebeke ve jeneratörün sıralı devreye alınması

Şekil 5'te ise sistemin çalışmasına ait akış diyagram gösterilmiştir. Akış diyagramına göre enerji kesildiği anda belirli süre sonunda jeneratör belirtilen adımlar uygulanarak çalıştırılmakta ve jeneratör devreye alınmaktadır. Ayrıca değerler ethernet modem üzerinden internet ortamına gönderilmektedir. Bu arada şebeke tekrar geldiğinde belirli süre sonunda jeneratör durdurularak şebeke devreye alınmaktadır. Bu çalışma döngü halinde sürekli tekrarlanmaktadır.



Şekil 5. Mikrodenetleyici Yazılımı Akış Diyagramı

Jeneratörün, şebekeyi sürekli izlemesi gerekmektedir. Bu sebeple şebeke gerilimi ve jeneratör gerilimini okumak için mikrodenetleyicinin 2 adet ADC portu kullanılmış, şebeke frekansı ve jeneratör frekansı içinde 2 adet harici sayma portu kullanılmıştır.

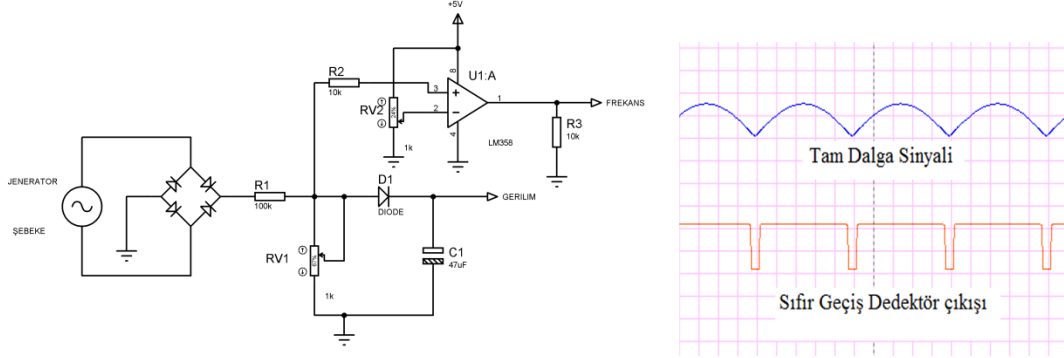
Şebeke gerilimini kesilmesini sistemin anlayabilmesi için tanımlanmış giriş voltajı değeri belli bir değer altına indiğinde şebekenin ani kesilme veya tekrar enerjilenme durumlarında jeneratörü koruyabilmek için sistem 5 saniye beklemektedir. Şebeke gittiğinde LCD ekranda “SBK YOK” ibaresi yer alır. Jeneratör çalıştırabilmesi için jikleyi çekebilmesi gerekmektedir. Bunun için jikleye çekebilmesi için küçük güçlüde olsa bir servo motor veya redüktörlü DC motor kullanılmaktadır.

Şebeke gittiğinde deneme sayısı LCD ekranda başlamaktadır. Ve her deneme sayısı LCD ekranda “CALISTIR DENE” olarak gösterilmektedir. Bu deneme sayısı ilerledikçe DC motor jikleyi çekmek için aktif edilmektedir. Jeneratörü çalıştırmak için mikrodenetleyici role çıkışı ile, röleye bağlanan marş kablosu ile jeneratörün aküsünden aldığı (+) 12 V ile marş dinamosunu 3 saniye aktif ederek jeneratörün çıkış vermesi sağlanmaktadır. Eğer jeneratör çıkış vermezse 3 saniye bekleyip tekrar röleye sinyal göndererek marş kablosu ile aküden alınan (+) 12 V tekrar marş dinamosuna uygulanmakta ve jeneratörün çıkış vermesi beklenmektedir. Bu işlem jeneratör çalışması için toplam 5 defa denenmektedir. Eğer çıkış verirse redüktörlü DC motor geri çevrilerek eski konumuna dönmektedir. Jeneratör çalıştıktan sonra diğer bir role çıkışları ile mikrodenetleyici şebeke kontaktörünü pasif edip, jeneratör geriliminin sisteme verilmesini sağlayan jeneratör kontaktörü aktif edilmektedir.

Şebeke, geri geldiğinde jeneratörü kapatmadan önce 5 saniye kadar şebekenin ani kesilmelerine karşı jeneratörü korumak için beklemektedir. Beklenen zaman sonunda jeneratörü durdurma için jeneratör stop butonu GND gönderdiğinden, stop rölesi ile jeneratörün aküsünün (-) ucu ile jeneratörün stop kablosunu 3 saniye kadar kısa devre etmektedir. Jeneratörün gövdesi (-) tetiklemeyi aldığı anda jeneratör kapanmaktadır.

3.1. Şebeke Jeneratör Gerilimlerinin ve Frekanslarının Ölçülmesi (Measurement of Grid and Generator Voltages and Frequencies)

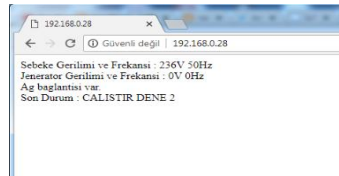
Şebeke ve jeneratör gerilimleri ile frekanslarının ölçülmesi için Şekil 6-a'da görüldüğü gibi bir devre yapısı tasarlanmıştır. Gerilim ölçümü için köprü tip doğrultmaç ile AC akım doğrultulmuş, dirençler ile düşürülüp kondansatör ile tam DC değere dönüştürülerek gerilim ölçümü yapılmıştır. Frekans ölçümü içinse köprü çıkışı kondansatörle tam DC değere çevrilmeden opampli karşılaştırıcıya verilmiştir. Burada DC değere dönüşmeden tam dalga olarak almak için D1 diyotu kullanılmıştır. Opampli devre ile sıfır geçiş dedektörü yapılmış ve AC sinyalin sıfır geçiş noktaları belirli zaman boyunca saydırılarak frekans ölçümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 6-b'de ise tam dalga çıkış ve sıfır geçiş dedektör çıkış sinyalleri gösterilmiştir.



Şekil 6. Gerilim-Frekans ölçüm devresi

4. JENERATÖR VERİLERİNİN UZAKTAN İZLENMESİ (REMOTE MONITORING OF GENERATOR DATA)

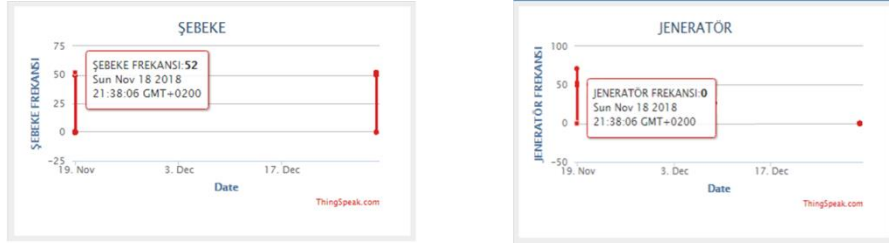
Bu kısımda şebeke gerilimini, frekansını ve jeneratör çalışırken üzerindeki gerilim ve frekansı iki farklı tipte uzaktan izlenebilmektedir. Bunlardan ilki modem bilgisayarın alacağı IP ile yerel ağ bağlantısını kullanarak ikincisi ise ThinkSpeak IoT ile uzaktan izlenmektedir. İnternet bağlanabilmek için ENC2860J modül kullanılmaktadır. ENC2860 ethernet modülü seri-ethernet dönüşüm işlemini gerçekleştiren uzaktan veri izleme uygulamalarında kullanılan bir dönüştürücüdür [16]. Elde edilen veriler ThinkSpeak veya yerel ağda izlenmektedir. ThinkSpeak her kullanıcının verilerini internet ortamına yükleyebileceği ücretsiz internet destek arayüz yapısıdır [17].



Şekil 7. Yerel ağ vasıtasıyla alınan veriler



Şekil 8. Şebeke Gerilim-Frekans değerlerinin gösterimi



Şekil 9. Jeneratör Gerilim- Frekans değerlerinin gösterimi



Şekil 10. Uygulaması Gerçekleştirilen Sistem Görünümü

Şekil 7’de yerel ağda jeneratör ve şebeke verilerinin izlenmesini gösterirken, Şekil 8, internet üzerinden şebeke gerilim ve frekansını göstermektedir. Ayrıca Şekil 9’ , internet üzerinden jeneratör gerilim ve frekansını grafiksel olarak göstermektedir. Şekil 10, sistemin bir transfer panosu haline getirilerek manuel jeneratöre uygulanması aşamalarını göstermektedir. Sistemin uygulandığı mekanda enerji kesildiği anda yaklaşık 10 sn içinde jeneratör devreye girerek enerji devamlılığını sağlamaktadır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Sanayinin gelişmesi ve kullanılan cihazların maliyeti ve herhangi bir elektrik kesintisinde işletmenin dolumsuz etkilenmemesi için jeneratörlere ihtiyaç giderek artmaktadır. Piyasada elektrik kesintisinde otomatik devreye giren jeneratörler bulunmaktadır. Ancak bu jeneratörlerin pahalı olması ve periyodik bakımlarının düzenli olarak yapılması gerektiğinden bu maliyetleri düşürmek için başka yöntemler geliştirilmek zorunda kalınmıştır.

Bu çalışmada maliyet olarak daha pahalı olan otomatik jeneratör yerine manuel jeneratörün enerji kesintisinde otomatik olarak devreye alınması sağlanmıştır. Diğer bir ifadeyle çalışma şekli otomatik jeneratöre dönüştürülmüştür. Bu sayede maliyet minimuma indirgenmiştir. Ayrıca jeneratör ve şebekedeki gerilim ve frekans değerleri uzaktan izlenmiştir. Sistem mevcut bir işletmeye kurularak başarılı bir şekilde test edilmiştir ve kullanımına devam edilmektedir. Yapılan bu çalışmanın geliştirilmesi ile jeneratörün akü durumu, ısı kontrolü, yakıt durumu, çıkıştaki yükün distorsiyonu, toplam çalışma saati vb. veriler izlenebilir. Bu sayede Jeneratörün daha etkin ve verimli çalışması sağlanabilir. Oluşabilecek arızalar önceden tahmin edilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bal G., “Özel Elektrik Makinaları” ,SeçkinYayınları, p.70-90, Ankara, 2012
- [2] Abou Haidar, G., Achkar, R., Abou Dayya, R., Salloum, A., Daoud, K. ,“Remote Generator Control Using Android Application”, 2014 8th Asia Modelling Symposium, IEEE Conferences, 219-224 Taipei,Tayvan, 2014
- [3] Podsiadly, P. Swiercz, B. , Wroblewski, S. , “Mobile Remote Control Application for Power Generators Vibration Monitoring”, 2009 MIXDES-16th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits & Systems, IEEE Conferences, 163-166 Lodz, Polonya, 25-27,2009
- [4] Evans R. A. , A manual/automatic Synchronization Circuit for a 37.5 MVA Steam-Turbine-Driven Generator”, “IEEE Transactions on INdustry Applications,IEEE Conferences, 1081-1085 IEEE Industry Applications Society, 1990
- [5] Sellschopp F.S. and Arjona L.M.A. “A tool for extracting synchronous machines parameters from the dc flux decay test”, Computers and Electrical Engineering, Vol. 31, 56-68, 2005.
- [6] Molenaar, D.P., Bosgra, O.H. and Hoeijmakers, M.J., “Time-Domain Identification of Synchronous Generator Transfer Functions”, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 124, 419-426, 2002
- [7] Bekiroğlu E., Bayrak A., “Sanal elektrik makinaları laboratuvarı: Senkron jeneratör deneyi” ,Gazi Univ. Muh.Mim. Fak.Dergisi, Cilt 25, No 2, 405-413, 2010
- [8] Kyriakides, E. and Heydt, G.T., “Estimation of synchronous generator parameters using an observer for damper currents and a graphical user interface”, Electric Power Systems Research, Vol. 69, 7-16, 2004.
- [9] Mouni, E., Tnani, S. and Champenois, G., “Synchronous generator modelling and parameters estimation using least squares method”, Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 16, 678–689, 2008.
- [10] Ramalingam K.K., “Hand book of Mechanical Engineering Terms”, New Delhi, New age Int., 2002
- [11] Umans A.E. , “Elektrik Makinaları”, Palme Yayıncılık, 6. Baskı, 2012
- [12] Kontrol Kalemi, “Manuel Jeneratör dönüştürme”, <https://www.kontrolkalemi.com/forum/konu/3-5-kval%C4%B1k-diesel-15-Haziran-2018>.
- [13]Chapman J., (Akin E., Orhan A. Çeviri), “Elektrik Makinalarının Temelleri”, Çağlayan Yayıncılık, pp. 270-275 , 2019
- [14] Jeneratör kullanım klavuzu, Alimar Makine, www.alimar.com.tr, 20 Haziran 2019
- [15]Ganesan V., “Internal Combustion Engines”, McGraw Hill Publishing,Second edution, New delhi, pp.-267, 2006
- [16] Scwhartz M., “Arduino Networking” , Pact Publishing ,p.83-90, 2014
- [17] ThingSpeak, <https://thingspeak.com/>,02 Temmuz 2018.

The Effect Of Calender Temperature And Number Of Fabric Layers On Fabric Performans In Combining Nonwovens With Calender Method

Utkay DÖNMEZ^{1,*}, Hacı Arif KURT¹, Arzu ATICI²

¹Teknomelt Teknik Mensucat San. ve Tic. A.Ş. Arge Merkezi, 46100, Onikişubat/ KAHRAMANMARAŞ

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Onikişubat/ KAHRAMANMARAŞ

Graphical/Tabular Abstract

In this study, tear strength, tensile strength and water resistance values of the spunbond fabrics obtained as a result of the degradation caused by thermal bonding on different calender temperatures were compared. As a result of the experimental study, both the nonwoven producers and their consumers have been guided about the effect of temperature values on the fabric physical properties in joining with the calender method.

Article Info:

Received: 26/04/2019

Revision 20/08/2019

Accepted: 02/09/2019

Highlights

- Spunbond kumaşların üretimi.
- Çok katlı spunbond kumaşların kalender ile birleştirilmesi.
- Tek katlı ve çok katlı kumaşların performans karşılaştırılması
- Tek katlı ve çok katlı kumaşların üretim/maliyet öngörüsü

Keywords

Spunbond,
Calender,
Effect of Temperature,
Performance Tests

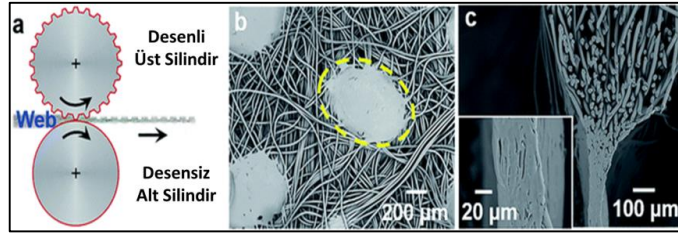


Figure A. Calender process and SEM image of the coupling point [13]

Purpose: In this study, physical properties of 1-layer, 2-layers and 3-layers fabrics having the same weight as calender-treated fabric samples from the spunbond production line will be compared. At the end of the study, it will be determined which single, double and triple spunbond fabrics having the same weight will show better physical properties; spunbond will guide the fabric consumers.

Theory and Methods: In the Spunbond machine, 30 gsm, 60 gsm and 90 gsm fabrics are produced by calendaring. Using the 30 gsm fabric produced, it was combined into two layers (30 + 30 gsm) and three layers (30 + 30 + 30 gsm). Tear strength, tensile strength and elongation at break of the developed fabrics were examined.

Results: When the tear, tensile strength, elongation and water column values of single, double and triple fabrics were examined; In general, it is understood that single layer fabrics perform better. The best results in terms of tear strength values were determined at K1 temperatures. In terms of tensile strength value, K1 gave the best value in 60 gsm fabrics while K3 gave 90 gsm fabrics. In terms of breaking elongation (%) values, K1 temperature values were the best for both 60 gsm and 90 gsm fabrics. For the water column value, K4 showed the best value in 60 gsm fabrics and K5 showed the best value in 90 gsm fabrics. To be reminded, K1 is the lowest temperature and K5 is the highest temperature in calender bonding.

Conclusion: When the test results are considered, it is understood that single layer fabrics show better value than multi layer fabrics. The main reason for this is that the single layer fabrics are passed through the calender once (1 time). The fact that two (2) and three (3) layer fabrics were calendared for the second time is considered to be the reason for the performance tests of single layer fabrics to give better values. The fact that the working conditions of the multi layer fabrics (calender properties (metal, aging time, tooth length etc.), calender pressure and calender working speeds) are the same supports that the difference in test results stems only from calender temperatures.



Nonwoven Kumaşların Kalender Yöntemiyle Birleştirilmesinde Kalender Sıcaklığı Ve Kumaş Katman Sayısının Kumaş Performansına Etkisi

Utkay DÖNMEZ^{1,*}, Hacı Arif KURT¹, Arzu ATICI²

¹Teknomelt Teknik Mensucat San. ve Tic. A.Ş. Arge Merkezi, 46100, Onikişubat/ KAHRAMANMARAŞ

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Onikişubat/ KAHRAMANMARAŞ

Öz

Nonwoven kumaş endüstrisinde, son üründe istenen özelliklere göre lif esaslı tülbenet tabakaları başlıca mekanik, ısı ve kimyasal yöntemlerle bağlanarak tekstil yüzeyi haline getirilmektedir. Çevre koruma konusundaki farkındalık, kimyasal maddelerle yapılan doku bağlanmanın kullanımı yerine ısı ile bağlama yöntemleri tercih edilmeye başlanmıştır. Isı ile doku oluşturma (kalender) ile doku bağlama yönteminde yüksek üretim hızı, daha iyi fiziksel özellik (kopma ve yırtılma mukavemeti) ve çevre dostu üretim yapılabilmesi bu yöntemi ilgi çekici hale getirmiştir. Dokusuz kumaş üreticileri sürekli olarak üretim hızını arttırmaya ve aynı güç için daha yüksek güç, daha az ağırlık veya yüksek genişletilebilirlik gibi performansını arttırmaya çalışıyor. Üretim hızını arttırmak için, kalender silindiri sıcaklığı yükseltilebilir, böylece daha az zamanda daha fazla ısı emilebilir. Nonwoven kumaşlara uygulanan sıcaklık ve basınç değeri kumaşların mukavemetlerine doğrudan etki etmektedir. Bu çalışmada, farklı kalender sıcaklıklarında, ısı bağlanmanın lif üzerinde sebep olduğu bozunmalar sonucunda elde edilecek spunbond kumaşların yırtılma, kopma mukavemeti ve su sütunu değerleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda hem nonwoven üreticilerine hem de tüketicilerine kalender yöntemi ile birleştirmede sıcaklık değerlerinin kumaş fiziksel özelliklerine etkisi hakkında yönlendirme yapılmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 26/04/2019

Düzeltilme: 20/08/2019

Kabul: 02/09/2019

Anahtar Kelimeler

Spunbond,
Kalender,
Sıcaklık Etkisi,
Performans Testleri

Keywords

Spunbond,
Calender,
Effect of Temperature,
Performance Tests

The Effect Of Calender Temperature And Number Of Fabric Layers On Fabric Performans In Combining Nonwovens With Calender Method

Abstract

In the nonwoven fabric industry, fiber based gauze layers are combined with mechanical, heat and chemical methods and turned into textile surface according to the desired properties. Using heat bonding methods instead of using tissue binding with chemicals has been started to be preferred for the awareness of environmental protection. This method has been drawing more attention in terms of high production speed, better physical properties (tensile and tear strength) and environmentally friendly production in the texture bonding method by heat formation (calender). Nonwoven fabric manufacturers are constantly trying to increase production speed and improve performance, such as higher power, less weight or high expandability for the same power. In order to increase production speed, the calender cylinder temperature is increased so that more heat is absorbed in less time. Temperature and pressure applied to nonwoven fabrics directly affect the strength of fabrics. In this study, tear strength, tensile strength and water resistance values of the spunbond fabrics obtained as a result of the degradation caused by thermal bonding on different calender temperatures were compared. As a result of the experimental study, both the nonwoven producers and their consumers have been guided about the effect of temperature values on the fabric physical properties in joining with the calender method.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Spunbond nonwoven kumaşlar elyaf eğirme, ağ oluşumu ve yapıştırma işlemi ile entegre üretilen kesintisiz filamentlerden oluşur. Nonwoven kumaşlar, taraklama, çekme, fitil, eğirme, dokuma veya örme gibi bazı geleneksel tekstil işlemleri kısmen veya tamamen elimine edilmiştir. Ara aşamaları elimine ettiği için, tek

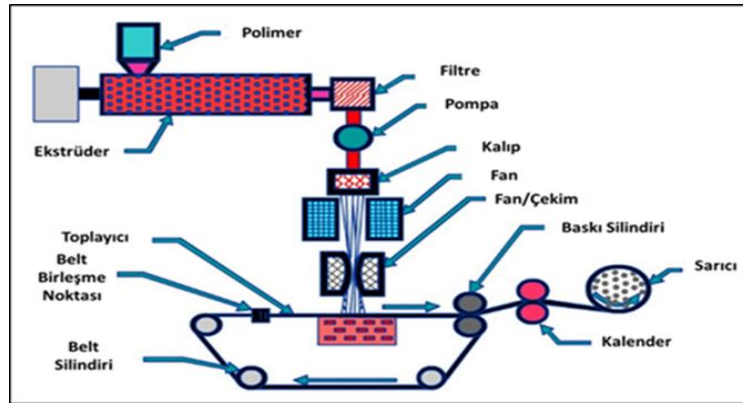
aşamada polimerden kumaşa en kısa kumaş üretim tekniğidir. Bu nedenle, polimer seçimi ve proses parametreleri doğrudan kumaş kalitesi ile ilgilidir [1,2]. Bu yöntem, üreticilere maliyetlerin düşürülmesi için fırsatlar sağlamaktadır. Spunbond üretim teknolojisi, 1950'lerin sonunda geliştirilmesine rağmen, ticari uygulamaları ancak 1960'larda kullanılmaya başlanmıştır. Spunbond kumaşlar mükemmel özellikleri ve yüksek işlem verimliliği nedeniyle hızla gelişmiştir [2-4].

Termoplastik özellikli polietilen, polipropilen, polyamide polimerler ile termoset özellikli polyester, poliüretan polimerler, spunbond nonwoven kumaş üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır [6]. Yüksek mukavemet ve sıcaklık stabilitesi sebebiyle polyester, yüksek kimyasal dayanım ve elektrik yalıtımı açısından polietilen, yüksek enerji sönümleme özelliği ile poliamid ve elastik özelliği ile polüretan spunbond kumaş üretim yönteminde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra polipropilen, sahip olduğu düşük yoğunluk ve yüksek verimlilik (kilo başına üretilebilen lif sayısı) sebebiyle üreticilerin tercih ettiği polimer çeşididir. Polipropilen izotaktik, sindiotaktik ve ataktik yapılarda üretilebilmektedir. Yapısındaki metil gruplarının aynı doğrultuda yönlendiği izotaktik polipropilen (iPP), üretim verimliliğinin yüksek ve maliyetinin düşük olması sebebiyle spunbond üretiminde en yaygın kullanılan polimer türüdür [4].

Spunbond kumaşlar, sahip oldukları özelliklere göre birçok sektörde kullanılabilir. Mukavemet ve uzama gibi temel fiziksel özelliklerin yanı sıra üretim esnasında UV dayanımı artırıcı, yumuşaklık kazandırıcı, anti statik özellik kazandırıcı, yanmazlık kazandırıcı katkı maddeleri ile spunbond kumaşların özellikleri ve performansları artırılabilir. Tarım ve seracılık, hijyen ve medikal, ambalajlama, paketleme, inşaat, oyuncak sektörü, mobilya sektörü gibi sayılabilecek bir çok alanda kullanılmaktadır.

1.1. Spunbond Kumaş Üretim Prosesi

Spunbond üretim süreci filament eğirme, çekme, üst üste biriktirme ve bağlanma gibi dört eşzamanlı ve entegre bir üretim sürecidir. İlk üç işlem doğrudan konvansiyonel yapay elyaf iplikçiliğinden esinlenmiştir. Bu üretim prosesinin temel işlevi, ekstrüde edilmiş polimerleri kalıp düzelerinden sabit basınçla geçirerek filament haline getirmek ve çekim işlemine maruz bırakmak ve filamentleri bir konveyör bant üzerine aktarmaktır. Son işlem ise mekanik, kimyasal ya da termal bağlama yöntemleriyle filamentlerin birbirine bağlanması ile kumaş yapısının elde edilmesidir [6,7]. Şekil 1'de spunbond üretim sisteminin detayları görülmektedir.



Şekil 1. Spunbond kumaş üretim yöntemi [8,9]

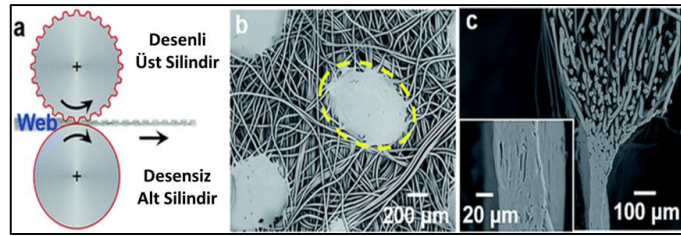
Spunbond kumaş üretiminde seçilen polimerin özelliklerine göre ekstrüder, pompa ve kalıp çalışma sıcaklık değerleri değişmektedir. Ekstrüderde akışkan hale getirilen polimer, pompa haznesinden sabit besleme hızı ile kalıba gönderilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, kalıptan çıkan filamentlerin sabit basınç altında (hız ve miktarda) olmasıdır. Bu şekilde kumaşın her yerinde sabit lif çapı ve aynı gramaj ağırlığında üretim gerçekleştirilebilir. Kalıptan çıkan filamentler, kalıptan daha soğuk olan ortamdan geçerek çekime uğrar ve bu süreçte filamentin olgunlaşması sağlanır. Fanların arasından geçen ve çekime uğrayan filament, toplayıcı belt üzerinde biriktirilir ve baskı silindiri ile geçici olarak yüzey haline getirilmiş olur. Üretilmesi hedeflenen gramaja göre belt hızı ayarlanmaktadır. Baskı silindirinden geçen yığın filamentler birbirlerine

tutunması amacıyla kalender sisteminden geçirilir. Kalender hem desen vermek hem de kumaş haline getirilen yüzeye mukavemet kazandırmayı sağlamaktadır [4, 9-11].

1.2. Kalender Yöntemi İle Doku Oluşturma

Spunbond kumaş üretim tekniğinde filamentleri birleştirmek için birçok yöntem kullanılmıştır. Bilinen doku oluşturma yöntemleri needle punch (iğneleme), hydroentangle (su jeti), kimyasal bağlama ve termal bağlama yöntemleridir [4]. Kalender yöntemi olarak da bilinen termal bağlama yöntemi en yaygın ve en ekonomik olanıdır. Kalender bağlama yöntemi ile aynı zamanda kumaşa desende verilmektedir. Bu teknikle bağlanma, doğrudan ısı iletimi ile sağlanır. Kalender doku oluşturmak için ihtiyaç duyulan ısı enerjisi sıcak su, buhar, infrarade ısıtıcı yada ısıtılmış yağ ile sağlanmaktadır [11-13].

Kalender prosesi ise kısaca, önceden ısıtılmış, basınç oluşturan silindirler arasından yığın haldeki filamentlerin geçirilerek, ısıya maruz kalan filamentlerin erimesi ve birbirine bağlanması şeklinde kumaş oluşumuna dayanmaktadır [13,14]. Şekil 2' de şematize edilmiş kalender prosesi (a) ve kalenderden geçmiş kumaşın üstten (b) ve yan kesit (c) görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. Kalender prosesi ve bağlama noktasının SEM görüntüsü [13]

Kalender makinesinde silindirler arası kıştırma basıncı, filamentleri çapraz noktalarda birleşmesini sağlamak için en uygun miktarda seçilir. Genel olarak nokta bağlama, üç kritik adımda gerçekleştirilir; Kristal bölgeleri kısmen eritmek için dokunun ısıtılması, ısı ile birbirinden ayrılan molekül zincir bölümlerinin filament-filament ara yüzeyinde difüzyona uğraması, ağın daha sonra soğumasına neden olmak ve yeniden katılaşması ile dağınık zincir parçalarının birbirine tutturulması işlemleridir [15,16]. Kalender desenine bağlı olarak, desen üzerindeki bağlantı noktalarının liflere 30-40 micron boyutunda baskı alanı oluşturduğu, filamentlerin bu noktalarda morfolojik değişimler gösterdiği anlaşılmıştır [17]. Bu birleşmelerin fiziksel etkisinin kalender ısısı ve süresinin büyük önem arz etmektedir. Söz konusu etkenler filamentlerin birleşmelerini sağlarken değişkenlerin uygun olmaması durumunda ya filamentler birleşmemekte yada morfolojik yapıları bozularak filamentlerin tamamen kopmasına sebep olabilmektedir. Kalender birleştirme yönteminde, filamentlerdeki bağlanma noktalarının kaynaşma derecesi, bağın nihai mukavemetini ve kumaşın nihai özelliklerine doğrudan etki etmektedir [18,19].

Dokusuz kumaşların kalender yöntemiyle ilgili literatürde bir çok çalışma vardır. Çalışmalardan bazıları, spunbond kumaş üretimi sırasında filamentlerin bir arada tutunması ve kumaş yapısını alması için uygulanan kalender işlemini ve parametrelerinin ürünlerdeki mukavemete etkileri incelemiştir [2,6,16,18,19]. Bu çalışmada ise spunbond üretim hattından çıkan ve kalender ile işlem görmüş kumaş numuneleri ile aynı gramaja sahip ikinci kez kalender işlemi gören 2 katlı ve 3 katlı kumaşların fiziksel özellikleri karşılaştırılacaktır. Çalışma sonucunda aynı gramaja sahip tek, iki ve üç katlı spunbond kumaşlardan hangisinin daha iyi fiziksel özellik göstereceği tespit edilecek; spunbond kumaş tüketicilerine yol gösterecektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada Lyondelbasel Moplen HP462R marka 25 MFI polipropilen (PP) granül kullanılmıştır. Moleküler dağılımı çok düşük olan ve homopolimer olarak satışı gerçekleştirilen ürünün özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan 25 MFI PP polimerin özellikleri

25 MFI PP Polimerin Özellikleri	Spekt
Eriyik Akış İndesi (MFI; 230 °C, 2.16 kg)	25 g/10 dk
Yoğunluk	0.900 g/cm ³
Yumuşama sıcaklığı (A50)	153 °C
Basınç altında sıcaklık sapsması (0.45 MPa)	86 °C

2.2. Metot

Kumaşlar tek kafa ve 320 cm çalışma eninde spunbond makinesinde üretilmiştir. Spunbond makinesinde, 30 gsm, 60 gsm ve 90 gsm spunbond kumaşlar Tablo 2’de verilen parametrelerde üretilmiş ve kalenderden geçirilmiştir.

Tablo 2. Spunbond Kumaşların Üretim Parametreleri

Gramaj	Pompa	Üretim Miktarı (m/dk)	Üst Kalender Sıcaklığı (°C)	Alt Kalender Sıcaklığı (°C)
30 gsm	27	58	149	146
60 gsm	24	25	155	152
90 gsm	27	19	161	158

Tablo 2’deki parametrelere göre üretilen 30 gsm kumaş kullanılarak, Tablo 3’deki kalender parametrelerine göre iki katlı (30+30 gsm) ve üç katlı (30+30+30 gsm) olarak birleştirilmiştir. İki katlı kumaş numunesi 25 m/dk, üç katlı kumaş numunesi 19 m/dk hız ile kalenderden geçirilmiştir.

Tablo 3. Kalender Isıl Birleştirme Parametreleri

Kalender Kodlaması	K1	K2	K3	K4	K5
Üst Kalender Sıcaklığı (°C)	149	152	155	158	161
Alt Kalender Sıcaklığı (°C)	146	149	152	155	158

Geliştirilen kumaşların yırtılma mukavemeti, Edana NWSP 100.2 metoduna göre; kopma mukavemeti ve kopma uzaması Edana NWSP 100.4 metoduna göre incelenmiştir. Numunelerin boyuna (MD) ve enine (CD) yönünde yırtılma ve kopma dayanımı değerleri Zwick/Roell Z05 universal mukavemet test cihazında tespit edilmiştir [20,21].

Yırtılma mukavemeti testleri için 5 adet boy ve enine yönde ölçümler yapılırken, kopma dayanımı testleri için 3 farklı bölgesinden 5’er adet alınan testler gerçekleştirilmiştir. Sonuç tablolarında bunların ortalamaları hesaplanmıştır. Bütün numuneler % 65 ±% 4 relatif nem ve 20 ± 2°C şartlarında kondisyonlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretilen 30 gsm kumaş numuneleri farklı kalender sıcaklıklarında birleştirilmiştir. Seçilmiş kalender ısıları ile üretilen katlı ve tek katlı kumaşların mukavemet değerlerinin kıyaslandığı bu çalışmada kalenderin sıcaklık ve çalışma hızı dışındaki parametreler sabit tutulmuştur.

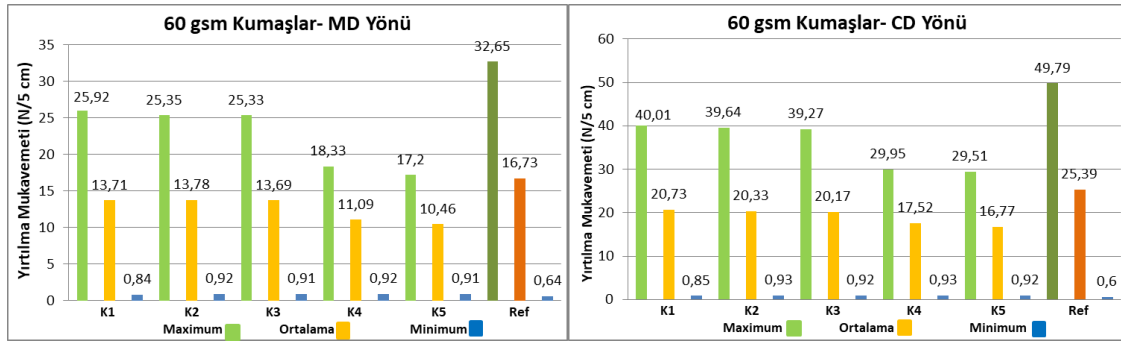
3.1. Yırtılma Mukavemeti Test Sonuçları

İşletme proses şartlarında (kalender sıcaklıklarında) üretilen tek katlı kumaş numunelerinin yırtılma mukavemeti test sonuçları Tablo 4’te verilmiştir. Test sonuçlarında kumaş boyu (MD) ve eni (CD) yönünde maximum, ortalama ve minimum yırtılma değerleri tablolarda verilmiştir.

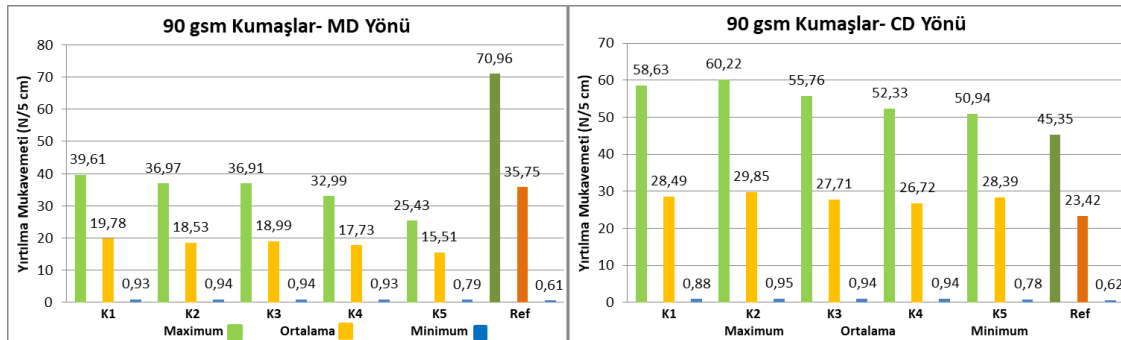
Tablo 4. Spunbond Tek Katlı Kumaşların Yırtilma Mukavemet Değerleri

Kalender Sıcaklıkları		K1 (149 °C-146 °C)		K3 (155 °C-152 °C)		K5 (161 °C-158 °C)	
Kumaş Yönü	Limitler	30 gsm		60 gsm		90 gsm	
		N/5cm	Std. Sap.	N/5cm	Std. Sap.	N/5cm	Std. Sap.
MD	Max.	26,67	±1,19	32,65	±2,21	45,35	±4,43
	Ort.	17,91	±1,19	16,73	±0,913	23,42	±1,74
	Min.	0,71	±0,012	0,64	±0,007	0,62	±0,01
CD	Max.	41,03	±0,48	49,79	±1,58	70,96	±4,07
	Ort.	27,41	±1,25	25,39	±0,68	35,75	±1,29
	Min.	0,68	±0,014	0,60	±0,075	0,61	±0,02

Beklendiği gibi kumaş gramajı arttıkça yırtılma mukavemeti değerlerinin arttığı görülmüştür. Spunbond üretim tekniği gereği, kumaş boyunca filamentlerin yerleşmesi sonucu kumaş enine olan yırtılma mukavemeti değerlerinin daha yüksek çıkması olağan sonuçlardır. İlk olarak çok katlı kumaşların birleştirilmesi sırasında 5 farklı kalender sıcaklıklarında üretim gerçekleştirilmiştir. İşlem sonucunda elde edilen 60 gsm (30+30) çift katlı kumaşa ait en (CD) ve boy (MD) yönünde yırtılma mukavemeti değerleri Şekil 3'te verilmiştir.

**Şekil 3.** 60 gsm kumaşların yırtılma mukavemeti değerleri

İki katlı 60 gsm (30+30) kumaşların, kumaş boyu (MD) ve eni (CD) yönünde yırtılma mukavemeti değerleri incelendiğinde; K1, K2, K3 kalender sıcaklık değerlerinde birleştirilen kumaşların yırtılma mukavemeti değerleri bir birine yakın olmakla birlikte çok az bir düşüş göstermiştir. Ancak sıcaklık değerleri arttıkça K4 ve K5 numunelerinin yırtılma mukavemeti değerleri düştüğü tespit edilmiştir. Filamentin, kumaş içerisindeki yerleşiminden dolayı CD yönü yırtılma mukavemeti değeri, MD yönü yırtılma mukavemeti değerlerinden yüksek olduğu anlaşılmıştır. K3 (155°C-152°C) sıcaklık değerlerinde üretilen tek kat 60 gsm kumaş ve çok katlı (30+30) gsm kumaş mukavemet değerleri kıyaslandığında, tek katlı kumaşların MD ve CD yönünde yırtılma mukavemet değerlerinin çok katlı kumaşlara göre belirgin bir şekilde daha iyi değerlerde olduğu görülmüştür.

**Şekil 4.** 90 gsm kumaşların yırtılma mukavemeti değerleri

Üç katlı 90 gsm (30+30+30) kumaşların, kumaş boyu (MD) ve eni (CD) yönünde yırtılma mukavemeti değerleri incelenmiş ve beklendiği üzere CD yönü mukavemet değerlerinin MD yönü yırtılma değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. K1, K2, K3 kalender sıcaklık değerlerinde birleştirilen kumaşların MD yönünde yırtılma mukavemeti değerleri bir birine yakındır. Ancak sıcaklık değerleri arttıkça K4 ve K5'te yırtılma mukavemeti değerlerinde düşüş tespit edilmiş ve özellikle K5 sıcaklık değerindeki mukavemet kaybı dikkat çekmektedir. CD yönünde yırtılma mukavemet değerleri incelendiğinde yine K1, K2 ve K3 kalender sıcaklık değerlerindeki yırtılma mukavemet değerleri yakın tespit edilmiştir. En iyi değeri küçük bir farkla K2 sıcaklık değerinde yakalanmıştır. K5 (161°C-158°C) sıcaklık değerlerinde üretilen tek kat 90 gsm kumaş ve çok katlı (30+30+30) gsm kumaş mukavemet değerleri kıyaslandığında, tek katlı kumaşların MD yönünde yırtılma mukavemet değerlerinin çok katlı kumaşlara göre çok daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. CD yönünde ise çok katlı kumaşların yırtılma mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

60 gsm tek katlı-çok katlı kumaşların ortalama yırtılma mukavemetleri arasındaki (MD; 2,95 N/5 cm CD; 5,06 N/5 cm) farkın 90 gsm tek katlı-çok katlı kumaşların ortalama yırtılma mukavemeti arasındaki farklara (MD; 7,91 N/5 cm CD; 7,36 N/5 cm) göre daha düşük tespit edilmesi kumaş gramajları arasındaki farktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim kalender sıcaklık değerlerinin artması ile yırtılma mukavemetlerindeki düşüşün kumaşın ısı artışı ile daha gevrek, kırılğan bir durum içerisine girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

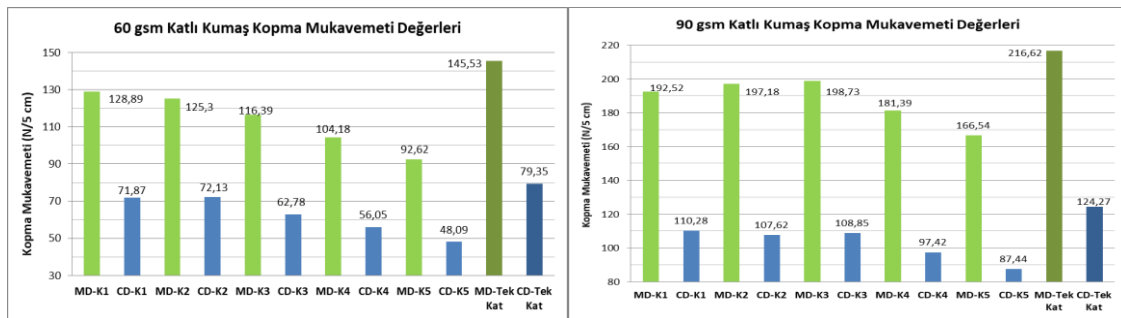
3.2. Kopma Mukavemeti Test Sonuçları

İşletme proses şartlarında (kalender sıcaklıklarında) üretilen tek katlı kumaş numunelerinin kumaş boyu (MD) ve eni (CD) yönünde kopma mukavemeti test sonuçları Tablo 5'da verilmiştir.

Tablo 5. Spunbond Tek Katlı Kumaşların Kopma Mukavemet Değerleri

Kalender Sıcaklıkları	K1 (149 °C-146 °C)		K3 (155 °C-152 °C)		K5 (161 °C-158 °C)	
	30 gsm		60 gsm		90 gsm	
	MD	CD	MD	CD	MD	CD
Kopma Mukavemeti	52.61	32.77	145.53	79.35	216,62	124,27
Standart Sapma	±2,78	±0,97	±6,13	±6,25	±22,00	±9,03

Beklendiği gibi kumaş gramajı arttıkça mukavemet değerlerinde artış görülmüştür. Yırtılma mukavemetinin aksine MD yönündeki kopma mukavemet değerlerinin CD yönüne göre yüksek olması yine beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5. Çok Katlı Spunbond Katlı Kumaşların Kopma Mukavemet Değerleri

Çok katlı kumaşların kopma mukavemeti sonuçları incelendiğinde, kalender sıcaklık değeri arttığında 60 gsm katlı kumaşın MD yönündeki mukavemet değerinin düştüğü tespit edilmiştir. CD yönü kopma mukavemeti değerleride K2 sıcaklık değeri haricinde düşüş eğilimi içerisindedir. 90 gsm katlı kumaşlar için ise en yüksek kopma mukavemet değeri K3 sıcaklık değerinde görülmüştür. K3 kalender sıcaklığından sonraki birleştirme sıcaklıklarının artmasıyla, MD yönü kopma mukavemeti değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Benzer durum CD yönü mukavemet değeri içinde geçerlidir. Kalender sıcaklıklarının artması ile

çok katlı kumaşların mukavemet değerlerindeki düşüşün kumaş içerisindeki filamentlerin birleştirme noktalarında bozunmaya uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

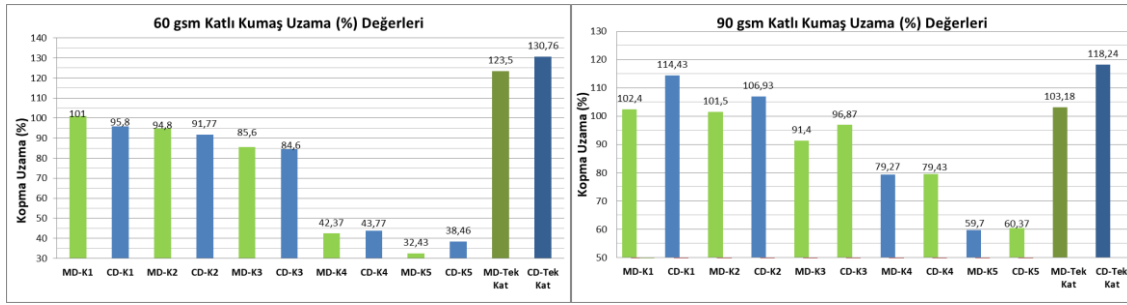
3.3. Kopma Uzaması (%) Test Sonuçları

Üretilen tek katlı spunbond kumaş numunelerinin kumaş boyu (MD) ve eni (CD) yönünde kopma mukavemeti test sonuçları Tablo 6'de verilmiştir.

Tablo 6. Spunbond Tek Katlı Kumaşların % Uzama Değerleri

Kalender Sıcaklıkları	K1 (149 °C-146 °C)		K3 (155 °C-152 °C)		K5 (161 °C-158 °C)	
	30 gsm		60 gsm		90 gsm	
	MD	CD	MD	CD	MD	CD
Kopma M.	107,57	106,18	123,5	130,76	103,18	118,24
Std. Sap.	±9,33	±6,49	±7,29	±9,05	±11,39	±8,63

İşletmede belirlenen üretim parametrelerinde tek kat spunbond kumaşların MD ve CD yönü % uzama değerleri arasında belirgin bir fark görülmemektedir. Ancak farklı gramajlardaki numunelerin % uzama değerleri arasındaki inişli çıkışlı veriler bu numunelerin kalender sıcaklıkları arasındaki farklılardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6. Çok Katlı Spunbond Kumaşların Uzama (%) Değerleri

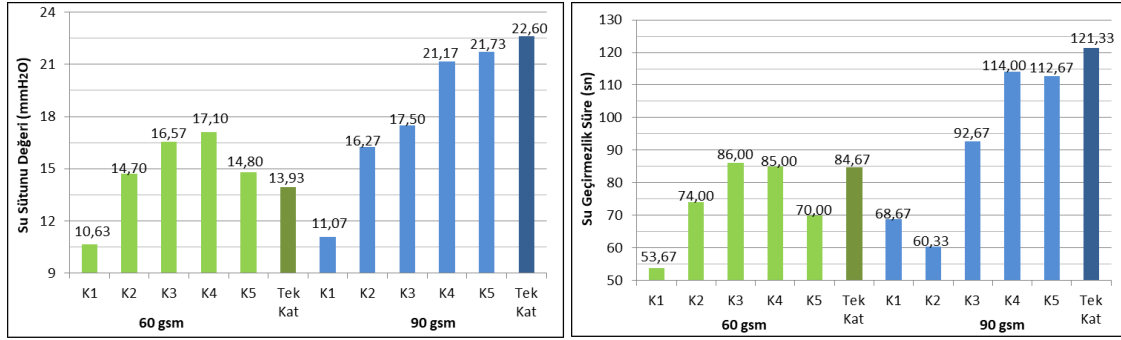
3.4. Su Geçirmezlik (Su sütunu-mmH₂O) Test Sonuçları

Tek katlı ve çok katlı kumaşlara hidrostatik basınç metoduyla, su geçirmezlik (su sütunu) testi yapılmış, kat farklarının ve farklı sıcaklıklardaki kalender birleştirmelerinin su sütunu değerine etkisi incelenmiştir. Tek katlı kumaşların su geçirmezlik değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Spunbond Tek Katlı Kumaşların Su Sütunu Değerleri ve Süreleri

Numuneler	Ortalama Su Sütunu Değeri (mmH ₂ O)	Ortalama Test Sonlandırma Süresi (sn)
30 gsm	12,03	80,33
60 gsm	13,93	84,67
90 gsm	22,6	121,33

Görüldüğü üzere kumaş gramajı yani birim alana düşen lif miktarı arttıkça su sütunu değeri ve su geçirmezlik süresinde artış görülmektedir. Kalender sıcaklık farklarının çok katlı kumaşlarda su sütunu değerlerine etkisi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 7. Çok Katlı Spunbond Kumaşların Su Geçirmezlik Test Sonuçları

Çok katlı kumaşlardan 60 gsm ağırlıkta olanların su geçirmezlik test sonucu incelendiğinde, kalender sıcaklığı K4 (158-155 °C) değerinde, en yüksek su sütunu değeri tespit edilmiştir. Kalender sıcaklığı arttıkça K4 sıcaklığına kadar su sütunu değeri artmış daha sonra tekrar düşüş göstermiştir. K3 kalender sıcaklık değerinde birleştirilen iki katlı kumaş ile referans tek katlı aynı sıcaklıkta üretilen 60 gsm kumaşın su sütunu değeri arasında fark görülmüştür. İki katlı kumaşın su sütunu değeri daha yüksek tespit edilmiştir. Çok katlı 90 gsm kumaşların test değerleri incelendiğinde, kalender sıcaklıkları ile birlikte su sütunu değerinin artış gösterdiği, en yüksek su sütunu değerinin K5 kalender sıcaklığında olduğu tespit edilmiştir. 90 gsm tek katlı kumaşın kalender sıcaklığı ile çok katlı kumaşın aynı kalender (K5) sıcaklıktaki değeri birbirine yakın olmakla birlikte tek katlı kumaşın su sütunu değeri daha yüksek tespit edilmiştir.

Su geçirmezlik süreleri incelendiğinde çift katlı kumaşlarda en uzun süre su geçirmeyen kumaş, K3 olarak tespit edilmiştir. Ancak en iyi su sütunu sağlayan K4 sıcaklığındaki su geçirmezlik süresi ise K3'e çok yakındır. Tek katlı 60 gsm kumaşla karşılaştırma yapıldığında K3 ve K4 ile aynı sürelerde geçirmezlik elde edildiği görülmektedir. Üç katlı 90 gsm kumaşlar incelendiğinde ise K2 kalender sıcaklığında birleştirilen kumaş su geçirmezlik süresi beklentilerden düşük tespit edilmiştir. En yüksek su geçirmezlik değeri ise K4 kalender sıcaklığında birleşen kumaş vermiştir. Tek katlı 90 gsm kumaşın su geçirmezlik süresi ile aynı kalender sıcaklığında (K5) birleştirilen çok katlı kumaşın su geçirmezlik süresi karşılaştırıldığında tek katlı kumaşın tıpkı su sütunu değerinde olduğu gibi daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Spunbond kumaşların üretiminde alt ve üst kalender sıcaklıklarının ve kalender silindir devrinin belirlenmesi kumaş kalitesi açısından önem arz etmektedir. Çalışmada aynı gramaja sahip tek, iki ve üç katlı spunbond kumaşların, kalender birleştirme yöntemi ile farklı kalender sıcaklıklarında birleştirme sonucu fiziksel özelliklerinde değişimler karşılaştırılmıştır. Kumaşlar 5 farklı kalender sıcaklığında birleştirilmiş ve yırtılma, kopma mukavemetleri ve su geçirmezlik testleri yapılmıştır.

Yırtılma mukavemeti testi sonucunda aynı gramaja sahip tek katlı kumaşların çok daha yüksek yırtılma değeri gösterdiği, katlı kumaşların kalender sıcaklıklarına göre yapılan karşılaştırmada ise sıcaklık değeri arttıkça yırtılma mukavemetinin düştüğü tespit edilmiştir. Ancak 90 gsm çok katlı kumaşın enine yırtılma mukavemeti test sonucu istisna göstermiştir. Kopma mukavemeti test sonucunda tek katlı kumaşların çok daha iyi test değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Çok katlı kumaşların kalender sıcaklıklarına göre yapılan karşılaştırmada birleştirme sıcaklığı arttıkça kopma mukavemeti değerinin düştüğü görülmüştür.

Kopma (%) Uzama sonuçlarında ise iki katlı kumaşlar sıcaklık değeri arttıkça uzama değeri düşerken referans tek katlı kumaşın çok daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Üç katlı kumaş % uzama değeri karşılaştırıldığında ise sıcaklık değeri arttıkça % uzama değerinin düştüğü ve referans tek katlı kumaşın daha yüksek değerde uzama gösterdiği görülmüştür.

Su sütunu test sonuçlarında ise iki katlı kumaşlar bir seviyeye kadar su sütunu değeri artarken sonra düşüş göstermiş, referans tek katlı kumaş ise bu seviyenin altında kalmıştır. Üç katlı kumaş ise kalender sıcaklığının artması ise su sütunu değeri artmış ancak referans kumaş daha iyi sonuç göstermiştir.

Tek katlı kumaşlar ile çok katlı kumaşlar arasında oluşan test sonu farklılıkları beklenmekte iken aynı gramaja sahip kumaşların kalender sıcaklıklarının artışı sonucu beklenenden farklı tepkiler göstermesi çalışma açısından kayda değer bir durumdur. Aynı gramaja sahip kumaşlar için kumaş yoğunluğu (kg/m^3) aynı değerde olsa da iki ya da üç katmanlı kumaşların birleştirilmesi % 100 sağlanmadığından bu fiziksel farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi, kalender desenindeki birleşme alanı kadar kumaş yüzeyine baskı yapılabildiğinden, ancak bu alan kadar birleşme olmaktadır. Ayrıca birleştirme sırasında, ikinci kez sıcaklığa maruz kalan çok katlı kumaşların yaşadığı ekstra bozunma da kumaşların test sonuçlarını olumsuz etkilediği anlaşılmaktadır.

Test sonuçları göstermiştir ki, aynı gramaja sahip tek, iki ve üç katlı kumaşların sıcaklığa maruz kalınan süre arttıkça fiziksel özelliklerinin düştüğü görülmüştür. Bu çalışmada ayrıca üreticilere ve tüketicilere, çok katlı kumaşların kalender birleştirme sıcaklıkları ile deneysel bilgi verilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, *Teknomelt Teknik Mensucat San. Ve Tic. A.Ş.* tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı *Teknomelt Teknik Mensucat San. Ve Tic. A.Ş.* ve *Arge Merkezi çalışanlarına* teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Babaarslan O. ve Kalebek N.A., Farklı Gramajlarda Kullanılan Isıl Bağlanmış Yüzeylerin Sürtünme Davranışı Üzerine Bir Çalışma. *Tekstil Ve Konfeksiyon*, 21(3) (210-216), (2011).
- [2] Midha V.K. and Dakuri A. Spun Bonding Technology And Fabric Properties: A Review. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 1(4) (1-9), (2017)
- [3] Russel, S.J. (2007). Handbook of Nonwovens. Cambridge: Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- [4] Lim H. A Review Of Spunbond Process. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 6(3) (1-31), (2010).
- [5] Hongu T., Phillips G.O. and Takigami M. New Millennium Fibers. United Kindom: Woodhead Publishing Limited; 2005. 299p. ISBN:9781845692209.
- [6] Salvado R., Silvy J., and Dréan J.Y. Relationship Between Fibrous Structure And Spunbond Process. *Textile Research Journal*, 76(11), (805-812) (2006).
- [7] Bhat G.S., Kotra R. Development Of Structure And Properties During Spun Bonding Of Metallocene Catalysed Polypropylene. *Polymer-Plastic Technol and Eng.* 47,(5) (542–549) (2008).
- [8] Fedorova N. (2006). Investigation Of The Utility Of Islands-In-The-Sea Bicomponent Fiber Technology In The Spunbond Process [Dissertation]. Ph.D Thesis, NC State University, Raleigh.
- [9] Hegde R.R. and Bhat G.S. Nanoparticle Effects On The Morphology And Mechanical Properties Of Polypropylene Spunbond Webs. *Journal of Applied Polymer Science*, 118(6), (3141-3155) (2010).
- [10] Aksoy A. (2012). Tek Kullanımlık Bakım Ve Hijyen Ürünlerinin Performans Özelliklerinin Arttırılması Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 144s.
- [11] Kansal H. Experimental Investigation of Properties of Polypropylene and Non-Woven Spunbond Fabric. *IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering (IOSR-JPTE)*, 3(5), (8-14) (2016).
- [12] Aksoy A., Kaplan S. Tekstilde Sıvı Transfer Mekanizmaları. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2), (51-67) (2011).

- [13] Liu J., Zhang X., Zhang H., Zheng L., Huang C., Wu H., Wang R., and Jin X. Low Resistance Bicomponent Spunbond Materials For Fresh Air Filtration With Ultra-High Dust Holding Capacity. *The Royal Society of Chemistry Advances*, 7 (69) (2017) 43879-43887.
- [14] Dahiya A., Kamath M.G., and Hegde R.R. (2014). Retrieved From Nonwovens Science and Technology II. (Materials Science & Engineering). University Of Tennessee: 554
- [15] Wang X. and Michielsen S. Morphology Gradients In Thermally Point-Bonded Poly (Ethylene Terephthalate) Nonwovens. *Textile Research Journal*, 72(5), (394-398) (2002).
- [16] Michielsen S., Pourdeyhimi B. and Desai P. Review Of Thermally Point-Bonded Nonwovens: Materials, Processes, And Properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(5), (2489-2496) (2006).
- [17] Chidambaram A., Davis H., and Batra S.K. Strength Loss In Thermally Bonded Polypropylene Fibers. *International Nonwovens Journal*, 9(3), (27-36) (2000).
- [18] Wang X., and Michielsen S. Morphology Gradients In Thermally Point-Bonded Polypropylene Nonwovens. *Textile Research Journal*, 71(6), (475-480) (2001).
- [19] Fedorova N., Verenich S. and Pourdeyhimi B. Strength Optimization Of Thermally Bonded Spunbond Nonwovens. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2(1) (2007) 155892500700200104.
- [20] Sivri Ç., Dokusuz Yüzeyleyler Endüstrisinde Sık Kullanılan Test Metodları, Cihazları Ve Standartları. Teknolojik Araştırmalar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(19-25), (2008).
- [21] Doğan G., Tercan M. ve Yüksekaya M.E. İğnelenmiş Dokusuz Yüzeyley Filtre Kumaşlarında Takviye Malzemesinin Ve İğneleme Yoğunluğunun Kopma ve Yırtılma Mukavemetine Etkisi. *Tekstil Ve Mühendis*, 16(76), (11-16) (2009).