

İnşaat Proje Yönetiminde Sağlık ve Güvenlik Yönetim Sistemlerinin Kullanımı İçin Bir Yöntem

A Method for the Use of Health and Safety Management Systems in Construction Project Management

Burak BİÇKES¹ , Gürkan Emre GÜRCANLI² 

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı İşletmesi, 34469, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul, Türkiye

Öz

İnşaat sektörü dünyada iş kazası ve meslek hastalığı sayısı en çok olan sektörlerin başında gelmektedir. Yaşanan iş kazaları gerek bireylere neden olduğu zarar açısından gerek ise iş yerine verdiği sosyal ve ekonomik zarar bakımından oldukça fazladır. Dolayısıyla işçi sağlığı ve iş güvenliği adına atılabilecek her adım iş kazalarını en aza indirmek adına büyük bir öneme sahiptir. İş kazalarının meydana gelmesindeki en büyük nedenlerden bazıları, işçi sağlığı ve iş güvenliği farkındalığının yeteri düzeyde olmaması, yöneticilerin ve kontrolörlerin güvenlik konusundaki yanlış kararları, çalışma alanındaki karmaşıklık, araç ve gereçlerin güvensiz kullanım şekli ve emniyet tedbirlerinin yeterli seviyede olmaması olarak sıralanabilir. Ek olarak İSİG üyelerinin sahada gerçekleşen çalışmalardan ve inşaat iş programından haberlerinin olmaması, proje yönetim döngüsü ile iş güvenliği yönetim sisteminin farklı doğrularda gitmesine ve sahada iş kazalarının yaşanmasına neden olmaktadır. Buradan yola çıkarak her inşaat esnasında entegre edilmiş bir iş güvenliği yönetim sistemine ihtiyaç bulunmaktadır denilebilir. Bahsedilen sorunlara çözüm olabilmesi amacıyla bu makale kapsamında ISO 45001 standartlarına göre İSG iç tüzüğünden de yararlanılarak, inşaat iş programı ile işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi entegre edilmiştir. Öncelikle bu kapsamda konut projesi seçilerek, projenin iş programı çıkartılmıştır. Ardından iş güvenliği yönetim sistemi kurulması için dört adet iş güvenliği uzmanı ile görüşülüp beyin fırtınası metodu ile fikir alışverişi sağlandıktan sonra gerekli belgeler ve iş güvenliği aktiviteleri çıkartılmıştır. Son olarak ise oluşturulan iki sistem birleştirilmiştir. Yapılan çalışma sayesinde planlama, saha ve iş güvenliği ekiplerinin koordineli şekilde çalışması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Planlama, İş Güvenliği, İş Kazaları, Entegre Yönetim Sistemi, Proje Yönetimi

Abstract

Construction industry is one of the industries with the highest number of occupational accidents and diseases. Occupational accidents are quite high both in terms of the harm they cause to individuals and the social and economic damage they cause to the workplace. Therefore, every step that can be taken in the name of worker health and safety is of great importance in order to minimize work accidents. Some of the major causes of occupational accidents can be listed as insufficient occupational health and safety awareness, wrong decisions by managers and supervisors, complexity in the work area, unsafe use of tools and equipment, and insufficient safety measures. In addition, the lack of news about the OHS members from the works and construction work program in the field causes the project management cycle and the occupational safety management system to go in different directions and occupational accidents in the field. It can be said that there is a need for an integrated occupational safety management system during each construction. In order to solve these problems, ISO 45001 standard are used in this article and the occupational health and safety management system is integrated with the construction work program. Firstly, a residential project was selected and the work program of the project was prepared. Subsequently, four occupational safety experts were interviewed to establish an occupational safety management system, and after exchange of ideas with brainstorming method, necessary documents and occupational safety activities were issued. Finally, the two systems were combined. The aim of the study was to coordinate the planning, field and occupational safety teams.

Keywords: Planning, Occupational Safety, Work Accidents, Accident Statistics, Project Management, Integrated Management Systems

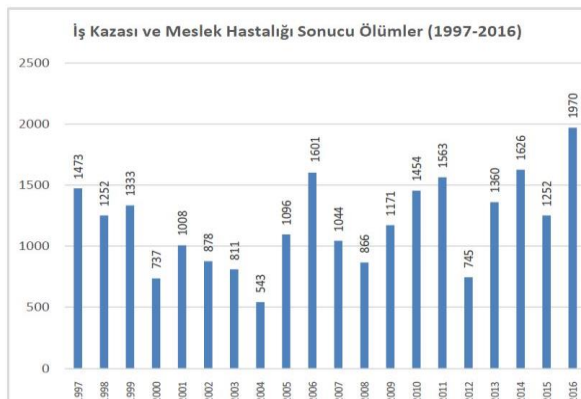
I. GİRİŞ

Tarihi insanlığın varoluşuna kadar dayanan, insanlık ve medeniyet için olmazsa olmaz bir faaliyet alanı olarak düşünülen inşaat sektöründe insanlığın gelişimine dayalı olarak evrimler yaşanmış ve günümüz ihtiyaçları ile bu evrimler, yapılara yansiyarak beraberinde riskleri de gündeme getirmiştir. Söz konusu risklerin varlığı, yanında işçi sağlığı ve iş güvenliği kavramı üzerine çalışmaların başlamasına ve gelişmesine zemin hazırlamıştır.

Bilinen ilk toplumlar olan avcı toplayıcı toplumlardan günümüze iş bölümünün belirginleşmesi, yapılan işlerin belirli bir prosedür içerisinde yerleştirilmesi ve farklılaşması, hiç şüphesiz ki işi yapanın yani işçi olarak tanımlanan bireylerin sağlığını ve güvenliğini gerekli kılmıştır. Özellikle sanayi devriminde dikkat çeken sonrasında artarak yaşanan yoğun iş kazaları işçi sağlığı ve iş güvenliği kavramının tartışılarak tanımlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Yüzyıllar öncesinde başlayan bu gelişimlerden etkilenen sorunlar modern zamanlarda, risk analizlerinin, risk süreçlerinin, tedbirlerin, yasaların ve işçi sağlığı ve iş güvenliği çerçevesinde ele alınan tüm yapı taşlarının temelini oluşturmuştur. İşçi sağlığı ve iş güvenliği bilincinin oluşması için öncelikle riskin kazaya dönüşmesi gerektiği görüşü, yavaş yavaş günümüz iş sahalarında yerini tedbir öngören sistemler üzerine çalışmayı, kazaların oluşumunu engellemeyi, risk meydana gelse dahi riskin işçi üzerindeki etkilerini en aza indirmeyi hedefleyen sistemler oluşmasına bırakmayı hedeflemelidir.

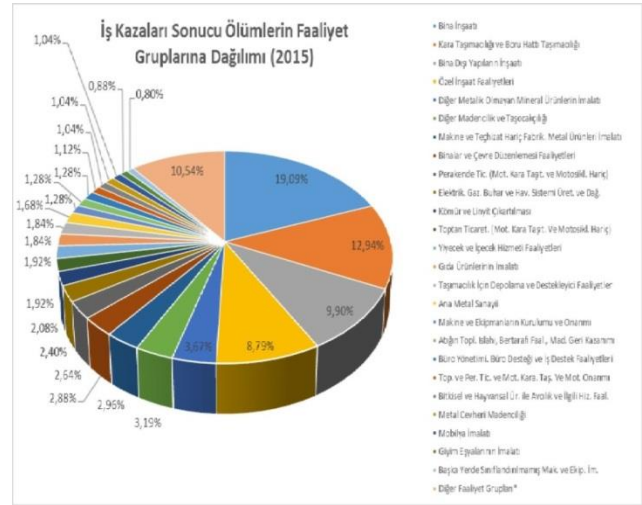
Tüm bunlara rağmen, işçi sağlığı ve iş güvenliğine özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkelerde başta yeterince önem verilmemesinden dolayı birçok iş kazası meydana gelmektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) 2016 Aralık tarihli Türkiye İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Profili'nde belirtildiği üzere, tüm dünyada her yıl 3 milyonun üzerinde kişi, iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucunda hayatını kaybetmektedir [1]. Bunun yanında yine her yıl 300 milyon ölümcül olmayan iş kazası meydana gelmektedir. Sadece dünya inşaat sektöründe bir yıl içerisinde yaklaşık 60.000 iş kazası yaşanmaktadır. Bu hesaba göre işin ciddiyetini daha iyi idrak edebilmek için her 10 dakikada bir ölümcül iş kazası meydana geliyor denilebilir [1,2]. Fakat yine de, inşaat işlerinde iş kazalarının niteliği gereği, vücut bütünlüğünün bozulması ve ölüme varan sonuçların ortaya çıkması kaçınılmaz olmaktadır. TMMOB Mart 2018'de yayınladığı İş Güvenliği raporuna göre göre, 2012-2016 yıllarında genel olarak iş kazası sayılarında sürekli ve önemli artışlar görülmektedir [3].



Şekil 1. Türkiye'de iş kazası ve meslek hastalığı sonucu ölümler [3]

Yaşanan iş kazaları arasında ki gerek ölümcül gerek ise

ölümcül olmayan kazaların en fazla yaşandığı sektörün ise elbette büyük bir fark ile inşaat sektörü olduğu Şekil 2'de açıkça görülmektedir [3].



Şekil 2. Türkiye'de iş kazası ve meslek hastalığı sonucu ölümler [3]

Tüm bu istatistik bilgilere bakıldığında işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunun ne kadar ciddi sonuçları olduğu görülmektedir. Mali kayıplar, iş gücü kayıpları, psikolojik bozukluklar bir kenara işin kalıcı hasar boyutu ve ölüm boyutu problemin önemini çok daha derinden vurgulamaktadır. Son yıllarda iş güvenliği ve işçi sağlığına verilen önemin artması, şantiyelerde ki daha sıkı kontroller, altyüklenicilerle yapılan iş güvenliğine dair yapılan ekstra sözleşmeler ve yürürlüğe giren iş güvenliğine ait kanunlara rağmen kazalar azalacağı yerde tam aksine katlanarak artmaya devam etmiştir. Bu da açıkça ortada yönetim odaklı bir problemin olduğu gerçeğinin bir göstergesidir.

Özellikle gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde ki inşaat faaliyetlerinde görülen bir diğer sonuç ise iş kazalarının büyük firmalardan ziyade, orta ölçekli ve küçük ölçekli projelerde gerçekleştiğidir [4]. Küçük ve orta ölçekli inşaat firmalarında kaza oranlarının yüksek olmasının başlıca sebepleri, iş güvenliği ve işçi sağlığı bilincinin olmaması, yöneticilerin ve denetleyicilerin güvenlik konusunda ki kararları, tesislerde ki karmaşıklık, malzemelerin ve ekipmanların kalitesizliği, ekipmanları güvenli olmayan kullanım şekilleri ve emniyet yöntemlerinin yeteri düzeyde olmaması sayılabilir [5].

Türkiye İnşaat Sanayicileri İşveren Sendikası'nın 2018 Eylül tarihli İnşaat Sektörü Raporu'na bakıldığında 2017'de inşaat sektöründe çalışanların eğitim durumunun yalnızca %26'lık bir kısmının lise ve yükseköğretim mezunu olduğu görülmektedir [6]. Bu orana bakılarak inşaat sektöründe en büyük paya kalifiye olmayan işçilerin sahip olduğu sonucu çıkmaktadır.

İşçi sağlığı ve iş güvenliği önlemlerinin alınmasında, çalışanların bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi büyük

önem taşımaktadır. Ülkemizde işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda dersler ilk olarak lise düzeyinde, mesleki ve teknik liselerde verilmeye başlanmaktadır. Bu eğitim daha sonra lisans ve lisansüstü daha kapsamlı olarak devam etmektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü'nün 2016 tarihli Türkiye İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Profili'nde belirtildiği üzere, farklı alanlarda eğitim veren teknik liseler ve meslek liselerinde 9. Sınıfta İSG hakkında genel bilgilendirme yapılırken, ileriki sınıflarda öğrencilere özelleştikleri alanlarda dersler verilmektedir [1]. Ancak inşaat sektörünün büyük kısmını kapsayan, lise veya üzeri eğitime sahip olmayan çalışanlar, yaptıkları işlerle ilgili bu nitelikte bir eğitim görmüş değildir. Ülkemizde faaliyet gösteren inşaat firmalarının çoğunluğunda, bu eksikliği kapatabilecek şekilde işçi sağlığı ve iş güvenliği eğitimleri, ekstra maliyete ve zaman kaybına neden olduğu düşüncesiyle gerektiği ölçüde verilmemektedir. Meslek odalarının ve kamu kuruluşlarının verdiği eğitimler ise profesyoneller düzeyinde kalmaktadır. Bunun sonucu olarak işçilerin büyük çoğunluğu, sahaya yeterli bilgi ve bilince sahip olmadan çıkmakta ve bu durum büyük tehlikelere yol açmaktadır.

İşçi sağlığı ve iş güvenliği önlemlerinin alınmasında diğer önemli ve gerekli husus, sahada yapılan işler esnasında ve öncesinde iş güvenliği ile ilgili fiziksel aktivitelerin yerine getirilmesidir. Ancak ne yazık ki ülkemizde yine birçok inşaat firmasında bu önlemler ya sadece görünürde alınmakta, ya da maliyet artışına sebep olduğu veya gerek olmadığı gibi düşüncelerle göz ardı edilmektedir. Bu önlem yetersizliği, eğitimsizlikle birleştiği zaman iş kazaları kaçınılmaz olmaktadır.

Diğer bir açıdan bakmak gerekirse, bir projede üst düzey yöneticilerin tutumları genellikle proje müdürlerine, şantiye şeflerine ve denetleyicilere yansımaktadır. Yani üst düzey yöneticiler iş güvenliğine yeteri kadar önem vermiyorsa, zaten bu ortamda iş güvenliği performansını artırmak için neler yapılabileceğini düşünmek belki de zaman kaybı olarak görülebilir. Bu tarz bir atmosferde güvenlik ile ilgili sorumlulukta mekanizmanın eksik olduğu aşırıdır. Daha açık anlatmak gerekirse bir inşaat projesinde sorumluluk sadece iş güvenliği mühendisinde olmamalıdır. Projede ki tüm paydaşlar iş güvenliği ile konularda sorumlu olduklarını bilmeli ve ona göre davranmalıdırlar. Başta şantiye şefi olmak üzere saha sorumluları zaman, maliyet, kalite ve verimlilik gibi konular ile ilgilenmekten iş güvenliği ile ilgili konuları göz ardı edebilmektedirler [7].

İşçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda eğitim ve fiziksel önlemlerin biliniyor olması, prosedürlerin düzenli bir şekilde uygulanması için yeterli değildir. Yapılan iş ile ilgili öncesinde sonrasında ve sırasında hangi durumlara bakılması gerektiğini çoğu durumda sadece tecrübeli bir iş güvenliği uzmanı bilebilmektedir. Bu açıdan birçok durumda böyle bir eksiklik olacağından dolayı yapılan işler gerekli kontroller yapılmadan veya

tehlike içerisinde yapılmaya devam etmektedir. Bu açıdan her türlü işte her türlü kontrolü bilebilecek bir mekanizmaya ihtiyaç vardır. İş güvenliği departmanı ve planlama departmanı arasında bir ilişki olmalı yani işçi sağlığı ve iş güvenliği, her inşaat projesi için özel olan iş programından bağımsız olarak düşünülmemelidir.

Tüm bu yukarıda sayılan problemler doğrultusunda işçi sağlığı ve iş güvenliği konularına farklı bir boyuttan bakmak gerektiği açıkça ortadadır. Bu açıdan değerlendirmek gerekirse, etkin bir planlamanın projelerin başarısında önemli bir rol oynayabileceği yaygın olarak kabul edilmektedir. Çünkü genellikle, projeyi planlama eylemi kendi başına başarıyı garanti etmeyecek olsa da, 'planlamanın olmaması muhtemel başarısızlığı garanti edecektir' ilkesi kabul edilir [8].

Belirtilenler doğrultusunda bu çalışma kapsamında, inşaat projelerinde süresel planlama ile İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetim Sistemi entegre edilerek, bütünlük bir güvenlik planlaması oluşturulması amaçlanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilmiş bir üründür ve oradan esinlenilmiştir. Bu çerçevede, inşaat projesi kapsamındaki aktivitelerin planlanması sırasında, işçi sağlığı ve iş güvenliği aktivitelerinin de aynı anda takip edilebilmesiyle, meydana gelebilecek iş kazalarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

Bu yapılan çalışma ile şantiyede çalışmalar başlamadan önce oluşturulan bütçe ve süresel planlama gibi önceden hazırlanması gereken evraklara ek olarak iş güvenliği ile ilgili önlemlerde birer aktivite olarak çıkarılmıştır. Çıkarılan iş güvenliği aktivitelerinin iş planıyla birleşmesiyle de planlama departmanı vasıtasıyla saha ekiplerinin ve iş güvenliği birimlerinin birbirleriyle daha koordineli çalışmaları ve daha sorunsuz bir iletişimlerinin olması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu şekilde işin daha az tehlikeli olabilmesi için gerekli koşullar saha ekipleri tarafından da bilinip bilinçaltında takip edilebilirliği oluşacaktır. Böylece önlemler iş gerçekleşmeden önce daha rahat alınabilecek ve iş güvenliği ile ilgili belgeler sadece iş güvenliği birimleri tarafından değil saha ekipleri tarafından da farkındalığı artacağı düşünülmüştür.

Aynı zamanda Şekil 3'te Risk Kontrol Hiyerarşisi'nde de görüldüğü üzere, bu yapılan çalışma Risk Kontrol Hiyerarşisi'nin daha en başında sağlık ve güvenlik önlemlerinin alınabileceği varsayımından hareket etmektedir [9]. Zira tasarım ve planlama yoluyla daha proje başlamadan riskler saptanabilir ve azaltmak için gerekli tasarım/planlama değişiklikleri yapılabilir. Bu çalışmada önerilen yöntem bahsedilen amacın gerçekleştirilmesi için bir araç sunmaktadır.

Kısaca özetlemek gerekirse, iş güvenliği ve işçi sağlığı yönetim sistemi ile iş programı entegre edilerek iş güvenliği ile tedbirlerin sadece saha esnasında alınmasıyla kalınmayacak, yapımdan önceki tasarım ve

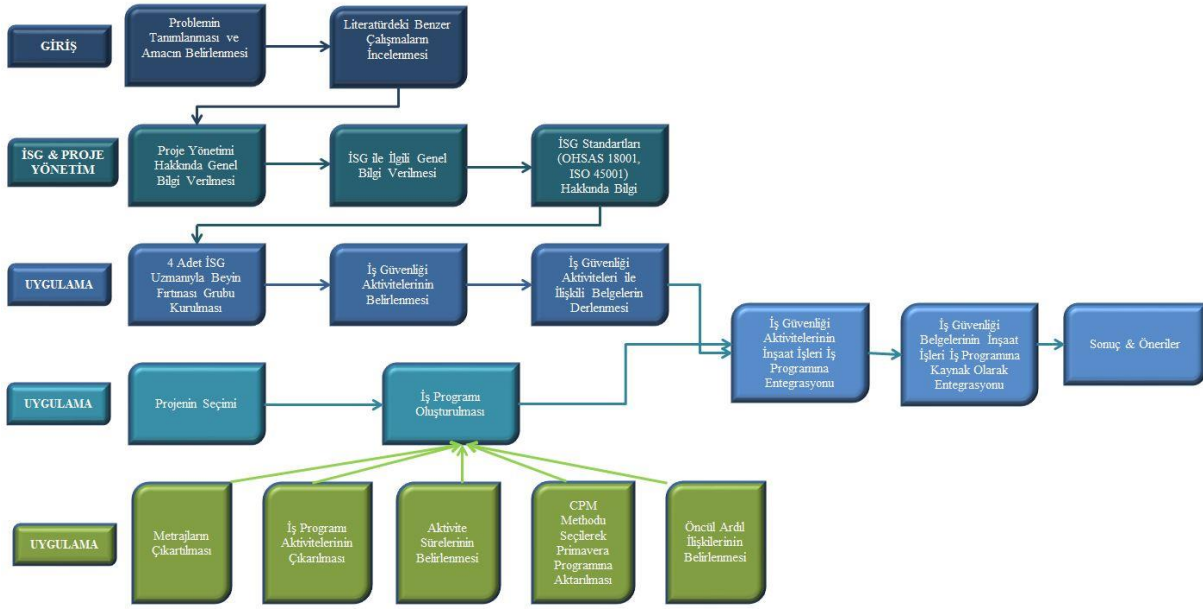
planlama aşamalarında da iş güvenliği tedbirleri düşünülerek yaralanmaların, mesleki hastalıkların ve en kritik olanı ölümlerin önüne geçilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3. Risk Kontrol Hiyerarşisi [9]

II. MATERYAL ve YÖNTEM

Makale çalışmasında öncelikle değinmek gerekirse OHSAS 18001 ve ISO 45001 standartlarına göre işçi sağlığı ve iş güvenliği ile form, tutanak, talimatlar, yönetmelikler vb. gibi tüm belgelerin derlenme işlemleri yapılmıştır. Fakat OHSAS 18001 değişerek yerine ISO 45001 geldiğinden dolayı çalışmanın ana yapısı ISO 45001 üzerine dayandırılmıştır. Projenin işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetimi kapsamında takip edilen ana kaynak, ISO 45001 – İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Standardı ve İSG İç Yönetmeliğidir.



Şekil 4. Çalışmanın Akış Şeması

Primavera P6'ya aktarılmış projeye ait iş kalemlerinde uygulanacak olan işçi sağlığı ve iş güvenliği talimat, form, prosedür ve tutanakları, İSG İç Yönetmeliği'ne göre belirlenmiştir.

Uygulama için genel olarak inşaat sıklığı nedeniyle konut projesi seçilmiştir. Konut projesine esas olan yapı ise İstanbul ili Küçükçekmece hudutlarında bulunan oturma alanı yaklaşık 400 m² olan ve 1 bodrum kat, 1 zemin kat ve 7 normal kattan betonarme bir yapıdır. Projede tünel kalıp ve prekast cephe kullanılmıştır.

Uygulamaya esas olan binanın projeleri, bu projenin planlama işini yapmış olan uzman bir planlama mühendisinden alınmış ve iş programında kullanılmak üzere metrajları çıkartılmıştır. Ardından iş programına ait inşaat işleri aktiviteleri oluşturulmuştur. Sonrasında her bir aktivite için verimlilikler düşünülerek aktivite süreleri belirlenmiştir. Süresel planlama teknikleri arasında Kritik Yol Metodu seçilmiştir ve bunun için Primavera P6 programı kullanılmıştır. Son olarak inşaat işleri aktiviteleri arasında öncül ve ardıl ilişkiler

girilmiştir. Aktivitelerin bağlanması sırasında, ilişkiler aktivite türüne göre start to start, start to finish, finish to start ve finish to finish ve aynı zamanda gerekli bolluklar ve gecikmelerde verilerek kurulmuştur. Sonuç olarak inşaat işleri iş programı oluşturulmuştur.

Burada iş kalemleri aktivite koduna göre ayrılması yapılmıştır. Aktivite kodunda ayrılmasının sebebi her bir aktiviteyi kendi kod grubuna göre sınıflandırmaktır. Aynı zamanda iş kırılım yapısına göre de aktiviteler gruplandırılmıştır. Aktivite kod olarak aktiviteler 4 ana başlığa bölünmüştür. Bunlar;

- İmalat Tipine,
- İnşaat Türüne,
- İş Güvenliği ile İlgili Belge Türüne,
- Kat Bazına göre oluşturulmuştur.

Diğer bir bölüm olan iş güvenliği ve işçi sağlığı ile ilgili tüm aşamalar 2 adet A sınıfı, 2 adet B sınıfı iş güvenliği uzmanı ile görüşülerek yürütülmüştür. Bunun için öncelikle 5 kişiden oluşan beyin fırtınası grubu kurulmuştur. 4 kişilik iş güvenliği uzmanı ile iş

programında ki her bir kalem için gerekli olan dokümanlar belirlenmiştir. Aktivitelerle ilişki kurulması gereken farklı türlerde belgeler bulunmaktadır. Bu türlerden bazıları ve en yaygın olarak kullanılanları aşağıdaki gibidir;

- Talimat: Aktivite boyunca uyulması gereken kuralları içeren belgelerdir.
- Form: Aktivite öncesinde hazırlanması gereken ve türüne göre aktivite başında, sırasında veya sonunda doldurulması gereken belgelerdir.
- Prosedür: Aktivite boyunca uyulması gereken kuralları içeren belgelerdir.
- Tutanak: Aktivite öncesinde veya sonrasında hazırlanması gereken ve türüne göre aktivite başında, sırasında veya sonunda doldurulması gereken belgelerdir [9].

İnşaat işleri aktivitelerine karşılık gelecek iş güvenliği aktiviteleri belirlendikten sonra ISO 45001 standartlarında ki dosyalardan yararlanarak belgeler bulunmuştur. Bu belgeler işçi sağlığı ve iş güvenliği aktivitelerine programda kaynak olarak atanmıştır.

Son olarak ise; Süresel planlama Primavera P6'da oluşturulup, İSG yönetimi için gerekli belgeler derlendikten sonra, bu iki sistemin entegrasyonu sağlanarak güvenlik planlaması yapılmıştır. Bu süreçte sürecin süresel anlamda etkilenmemesi amacıyla bazı kabuller yapılmıştır;

- Aktiviteler başlamadan önce imzalanması gereken formlar, aktivite başlamadan 1 gün önce tamamlanacak şekilde aktivitelere bağlanmıştır.
- Her aktivite için, o aktivite özelinde uyulması gereken prosedür ve talimatlar, ilgili aktivite başlamadan 1 gün önce başlayıp, aktivite süresince devam edip, aktivite ile tamamlanacak şekilde oluşturulmuştur.
- Proje süresince tüm aktivitelerde uyulması gereken genel talimat, form, kontrol listesi ve prosedürler belirlenerek (Şahsi Koruyucu Malzemeler Kullanımı İş Güvenliği Talimatı, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Talimatı, Tehlike ve Risk Değerlendirme Prosedürü gibi) proje başlangıcında başlayıp, proje bitiminde tamamlanacak şekilde atanmıştır.
- Verilmesi gereken iş güvenliği eğitimleri proje başlangıcında başlayıp, proje sonunda bitecek şekilde oluşturulmuştur.

Bu kabullere dayanarak, iş programı güncellenmiştir.

İnşaat endüstrisi diğer endüstrilerle bağlantılı olarak kaynaklanma ve planlı olma eğilimindedir ve bu, iş güvenliği ve işçi sağlığını etkileyebilecek inşaat kültürü özelliği olan her türlü üretim riskine bir kriz yönetimi yaklaşımını teşvik eder. Buna karşın sadece yüksek planlı işler neredeyse her zaman sorunsuz bir şekilde çalışabilir. Bu tür çalışmalar son derece odaklanılmış

bir şekilde yönetilir ve çok detaylı bir şekilde planlanır. Rutin işler bile daha kesin kısa vadeli planlamalardan faydalanabilir. Aynı şekilde iş güvenliği ve işçi sağlığı konularının da aynı yaklaşımdan faydalanmaması ve en azından bu derecede geliştirilmemesi için hiçbir neden yoktur [10].

Günümüzün düşüncesi, eski üçgensel zaman, maliyet, kalite konularından birindeki bir iyileşmenin diğerlerinde bozulmaya yol açtığı değiş tokuş modeline ciddi bir şekilde meydan okumaktadır. Bu da artık 'kalite ücretsizdir' denen toplam kalite yönetimi felsefesinin genişlemesine sebep olmaktadır [11]. Aynı zamanda güvenlik alanındaki verimliliklerin zaman ve maliyet gibi diğer alanlarda da fayda sağlayabileceğine hedefini taşımaktadır. Etkili bir inşaat planlamasının ve kontrolünün sağlık ve güvenlik risklerinin önlenmesinde önemi göz ardı edilemez [12].

Proje yönetimi konulu yayınlarda 1990'lı yılların sonlarından itibaren işçi sağlığı ve iş güvenliği konuları öne çıkmaya başlamıştır. İşçi sağlığı ve iş güvenliği yönetiminin proje yönetimine entegrasyonu konulu bu çalışmanın ortaya çıkmasına temel oluşturan literatürdeki bazı çalışmalar ile ilgili özet bilgiler aşağıda verilmiştir:

İlk olarak, Tarrants 1980 yılında yaptığı bir çalışmada iş güvenliğinin planlanmasının ve bu sürecin yönetilmesinin tasarım aşamasında inşaat yönetimi bünyesine girmesi gerektiğine değinmiştir [13]. Kartam ve Levitt 1990 yılında yaptıkları çalışmada işverenlerin altyüklenicilerini güvenlik açısından ön kalifiye etmeleri gerektiğine inanarak, işveren penceresinden altyüklenicilerin iş güvenliği ve sağlığı konusunda ne derece önem verdiklerini analiz edici bilgisayar destekli bir program olan SAFEQUAL' i üretmişlerdir. SAFEQUAL altyüklenici firmaya 4 sayfalık bir anket gönderen bir uygulamadır. Aynı zamanda SAFEQUAL ankete alt yüklenicinin verdiği yanıtları yorumlamada veya bir müteahhidin beklenen güvenlik performansının değerlendirmesini haklı çıkarma yetkisi veren kapsamlı bir kontrol listesine benzeyen basit bir sistemdir. Bu sayede işveren henüz teklif aşamasındayken bile altyüklenicinin iş güvenliğine karşı bakış açısını değerlendirme fırsatı yakalamış olmaktadır [14].

Kartam tarafından 1997 yılında yapılan çalışmanın bu makale kapsamı ile büyük benzerlik taşıdığı görülmüştür. Kartam, makalesinde inşaat kazalarının birçok insan trajedisine neden olduğundan, inşaat işçilerinin demotivasyon oluşundan, inşaat süreçlerine zarar verdiğinden, ilerlemeyi geciktirdiğinden ve inşaat endüstrisinin maliyetini, verimliliğini ve itibarını olumsuz yönde etkilediğinden bahsetmiştir. Öte yandan, mal sahibinin inşaat sırasında işin güvenli gittiğini izlemek ve kontrol etmek isteyeceğini ve iş güvenliği planlarını bir yüklenici seçiminde kriter olarak değerlendirmek için etkili bir araca ihtiyaç

duyacağın savunmuştur. Ek olarak zamanlamanın, maliyetin, üretimin ve kalite kontrolün her sorumluluk seviyesindeki iyi düşünülmüş bilgisayarlı planlar ve kontrollerle yönetilmesinden bahsetmiş, buna karşılık ise iş güvenliği ve sağlık uzmanlarının gerçekten ihtiyaç duyulan bir entegre güvenlik yönetim sisteminin olmadığına dikkat çektiğinden bahsetmiştir. Sonuç olarak, tüm bunlar düşünüldüğünde proje yönetim tabanlı bir tedbir bulunması gerektiğini dile getirmiştir. Bu bağlamda, planlama için CPM (Kritik Yol Metodu) esas alınmış ve bu yönetime paralel bir yazılım sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem kapsamında, projedeki tüm faaliyetler ile işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetmelikleri, Kartam tarafından geliştirilen IKIS-SAFETY yazılımı ile entegre edilmiştir. Kartam, entegrasyon sisteminde CPM'den farklı bir yazılım kullanmasının sebebinin CPM'in mevcut haliyle bir inşaat projesi için yeterince karmaşık olduğuna dayandırmıştır. Bunun içinde CPM üzerine ayrı bir yazılım tarafından eklenen bağlantılar ile sürecin izlenebilirliğini kolaylaşacağını savunmuştur [15].

Saurin ve arkadaşları 2001 yılında yaptıkları çalışmada iş güvenliği yönetim sisteminin, belirli bir düzende planlama sistemine entegre edilebileceği SPC adında bir modele değinmiştir. Bu makale kapsamına konu olan çalışma ile oldukça benzerlik taşıdığı en önemli yanı ise bahsedilen modelin küçük çaplı bir konut projesi üzerinde denenmesidir. 2001 yılında yapılan bu çalışma sonucunda, Last Planner metodu gibi üretim planlama ve kontrolünde başarıyla kullanılan kavram ve yöntemlerin emniyet planlamasına da uyarlanabileceğini göstermiştir. Buna ek olarak planlama toplantıları içerisinde iş güvenliği planlamasının ve kontrolünün de bulunması gerektiği düşünülmüştür. Aynı zamanda bunun çok fazla zaman kaybına sebebiyet vermeyeceğini de gösterilmiştir [16].

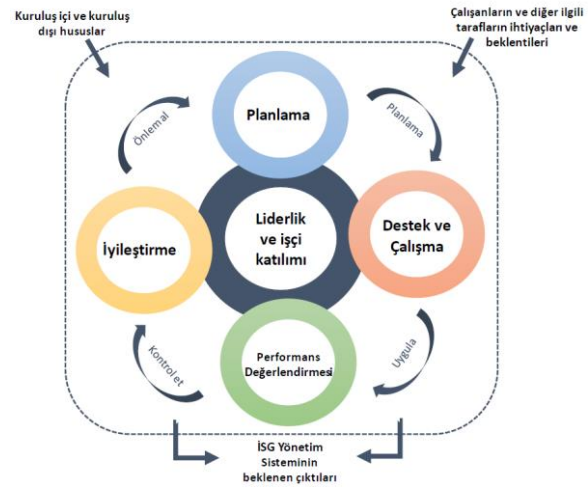
Yapılan literatür taramasına baktığımızda 1980 yılından günümüze kadar yapılan çalışmalar sundukları öneriler açısından benzerlik taşımaktadır. Tüm bu çalışmalardan iş güvenliğinin sadece yapım aşamasında ki tedbirlerle sınırlı kalınmaması gerektiğine ve tasarım ve planlama süreçlerine entegre edilmesi gerektiği sonucuna ulaşmak zor değildir. Ancak yapılan tüm bu çalışmalara rağmen ne yazık ki proje süresel yönetimi ve işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetiminin entegrasyonu konusunda somut adımlar atılmadığı görülürken, uygulanmakta olan bir yönetime de rastlanmamıştır.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

1997 yılında ISO, işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi geliştirmemeye karar verdi ve bu sebeple birçok ülke kendi iş güvenliği yönetim sistemlerini geliştirme kararı almıştır. BSI tarafından 1996 yılında BS 8800 adı altında bir standart üretildi. Bu standart HSE ve ISO 14001'den gelen yönetim sistemleri modellerine dayanarak bir rehberlik belgesi olarak yazıldı. BS 8800 genel olarak, mevcut bir işçi sağlığı ve iş güvenliği

yönetim sistemi ile eksiklikleri nasıl değerlendirebiliriz, yeterli bir sistem ne içermelidir ve mevcut sistemden yeterli bir sisteme nasıl geçilir gibi konular hakkında tavsiye vermektedir. BS 8800 yayınlandıktan sonra ilk 1 yıl içerisinde 7000'den fazla satışı gerçekleşmiştir. Ardından 1999 yılında OHSAS 18001, BSI tarafından yönetilen çeşitli kuruluşlar tarafından üretilmiştir. Bu kuruluşlar hem İngiltere'den hem de uluslararası camiadan gelen kuruluşlardır. OHSAS 18001'de kullanılan yönetim sistemi modeli ISO 14001 modelidir. Bir standart olarak, OHSAS 18001, organizasyonun her bir fonksiyon ve organizasyon düzeyinde, belgelendirilmiş sağlık ve güvenlik hedeflerini belirlemesi ve sürdürmesi gibi ifadeleri kullanarak bir dizi yönetim sistemi gereksinimi listelemektedir [17].

OHSAS 18001, 2007 yılında ise güncellenmiştir. Fakat her ne kadar OHSAS 18001 yaygın olarak kullanılsa da bir ISO belgesi değildir. Bu yüzden son yıllarda ISO 45001 adı altında bir standart geliştirilmektedir. ISO 45001 standardı, OHSAS 18001 standardı yerine hazırlanmakta olan yeni işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim standardıdır. ISO 45001'in kapsamı Şekil 5'te de gösterildiği üzere liderlik ve işçi katılımına dayalı planlama, destek ve çalışma, performans değerlendirme ile birlikte de sürekli iyileştirmeyi hedefleyen bir yapıya dayanmaktadır.



Şekil 5. ISO 45001 Kapsamı

Makale kapsamında İşçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi oluşturabilmek için beyin fırtınası kullanılmıştır. En çok bilinen ve halk arasında geçen uzman görüş yöntemlerinden biri olan beyin fırtınası uzman görüş yöntemi farklı türlerde belirtilebilmektedir. Çoğunlukla araştırma tekniği olarak kabul görülürken, bazıları kişi veya kurumlarca yöntem, problem çözme metodu olarak da kullanılmaktadır. Yöntem; en temel anlamıyla birden çok katılımcının bir araya gelerek bir konuyla ilgili düşüncelerini tartışmaksızın açıklayarak, birbirleriyle fikir alışverişinde buldukları, kişinin yaratıcı düşünme gücünü geliştiren bir öğretim tekniğidir. Bu

teknik, eleştiri ve yargılama olmadan, bir konu üzerinde her türlü fikrin yüksek sesle dile getirilmesi temeline dayanan, yaratıcı düşünceleri ortaya çıkarmak amacıyla kullanılan tekniklerden biri olarak ifade edilebilir.

Yapılan literatür taramasında bu yöntem ilk kez Osborn tarafından 1957’de pazarlama sektörü ile kullanılmaya başlanmış olup, sonrasında 1971’de Davies tarafından psikolojide kullanılmaya devam edilmiştir [18,19]. Orlich’e göre, beyin fırtınasını bir yöntem olarak değil etkinlik şeklinde görmekte ve düşünce-görüş kazandırma ve yeni fikirlerin ortaya atılmasında öğretimsel amaçları olduğunu savunmaktadırlar [20]. Demirel ise, beyin fırtınasını hayal yoluyla düşünce ve fikir üretmek için kullanılan yaratıcı bir teknik olarak tanımlamaktadır [21].

Katılımcıların eleştirilme endişesi olmadan fikirlerini rahatlıkla ifade ettikleri bir grup tartışma tekniğidir ve birçok katılımcının bir araya tek bir oturumda gelmesi kısa sürede çok sayıda farklı fikir üretilmesini sağlar. Bir moderatör yönetiminde katılımcılara yapılan sunuşun ardından katılımcılar fikirlerini beyan eder ve tüm fikirleri not alınır. Süreç içerisinde uzmanlar fikirler arasında bağlantılar tespit ederse bu fikirler birleştirilebilir. Her sorun veya konu üzerinde en son tartışma ve analiz sağlanarak ortak bir görüş oluşturulmaya çalışılır.

Bu makale kapsamında, İSİG Bilgi Belge Yönetim Sistemi entegrasyonuna yönelik yapılan çalışmada ise ortalama 10 – 15 yıl inşaat sektörü tecrübesine sahip 2 adet A sınıfı, 2 adet B sınıfı iş güvenliği belgeli ve bir de benden oluşan 5 kişilik bir beyin fırtınası grubu kurulmuştur. 5 kişilik bu beyin fırtınası grubu sayesinde İSİG bilgi belge yönetim sisteminin bileşenleri oluşturulmuş ve bu bileşenlerin belirlenen iş kalemlerine entegrasyonu sağlanmıştır.

Bu kapsamda içerik olarak;

1. İSİG Yönetim Sistemine İlişkin Belge Türlerinin neler olacağı belirlenmiş,
2. İSİG Yönetim Sistemine İlişkin İş Kalemleri belirlenmiş,
3. İSİG Yönetim Sistemine İlişkin Belgelerin (Kaynakların) Tedariği yapılmış,
4. İSİG Yönetim Sistemi ile İnşaat İşleri İş Programının entegrasyonu yapılmıştır.
- 5.

Beyin fırtınası grubu ile işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sisteminin kurulması 2 aşamada gerçekleşmiştir. Beyin fırtınası grubu ile yapılan çalışmanın ilk oturumunda bir konut projesinin inşaatı işinde işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi dokümantasyonu için en çok kullanılan belgeler belirlenmiştir. Bunlar, talimat, prosedür, form, tutanak, tehlike ve risk değerlendirme, kaza ve olay tespit, eğitim, acil durum planları ve kontrollerdir. Aynı zamanda İSİG yönetim sisteminde olması gereken iş güvenliği aktiviteleri listesi çıkartılmıştır. Aktivite

listelerinden kasıt, iş güvenliği belgelerinin çeşitlerinin isim olarak belirlenmesidir. Bilinildiği üzere iş güvenliği konusunda doldurulması gereken tek bir form veya uyulması gereken tek bir prosedür veya talimat yoktur. Örnek olarak göstermek gerekirse;

- Şantiye Alanına Giriş İzni Formunun Doldurulması,
- Yüksekte Çalışma Prosedürüne Uyulması,
- Acil Durum Müdahale Ekipleri Listesinin Belirlenmesi, gibi iş kalemleri sayılabilir.

Son olarak ise kullanılacak bu belgelerin tedarik edilmesi yapılmıştır. Sağlık, Emniyet ve Çevre (SEÇ) Politikasının belirlemiş olduğu dokümanlardan, beyin fırtınası grubunda ki iş güvenliği uzmanlarının kullandıkları belgelerden ve tüm bu süreçler için ISO 45001 standardından da yararlanılmıştır. Bu sayede her çeşit belge türü için iş güvenliği aktivitelerin içerisinde örnekleri de bulunabilmektedir.

İkinci oturumda ise belirlenen İSİG Bilgi Belge Yönetim Sistemine ilişkin belgelerin yapım sürecinde hangi imalat kalemleri ile ilişkili olduğu, hangi tip ilişkide olduğu, hangi imalatlardan önce ve sonra hangi belgelerin hazırlanması gerektiği, alınması gereken izinler, alınması gereken güvenlik önlemleri gibi İSİG sistemi ile inşaat uygulama iş kalemlerinin birbirlerine ilişkilendirilmesine ilişkin asıl bütünleşik sistem oluşturulmuştur.

Aktarılan inşaat işleri iş programı bilgileri ile işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi ile ilgili bilgilerin birleştirilmesi ile ilgili olarak en başta yapılan hamle planlama esnasında aktivite kod yapısı oluşturmaktır. Aktivite kod yapısını oluşturmada ki en önemli amaç karmaşıklıktan kaçınılması ve yerli, zamanı geldiğinde veya ihtiyaç duyulduğunda kendi grupları halinde kullanıcıya sunabilmektir. Aktivite kod yapısı aşağıda gösterildiği üzere 4 ana başlıkta oluşturulmuştur:

- İMALAT TİPİ
- İNS
- İSG
- KATLAR

İmalat tipine göre kodları ayırmanın mantığı aktivitenin ilk bakışta kolayca iş güvenliği mi yoksa inşaat işlerine mi ait bir aktivite olduğunu anlayabilmektir. Bunun için Aktivite ID sütunu adı altında zaten aktivite isimlerinin sonuna kolayca anlaşılabilirliği için “-İSG” terimi eklenmiştir. Fakat aktivite kod yapısının da içerisinde bunun barınması için İmalat Tipi adı altında bir başlık açılmıştır.

İNS kodu aktivitenin inşaat işlerine ait bir aktivite olduğunu belirtmektedir. Benzer şekilde İSG kodu ise aktivitenin işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemine ait bir aktivite olduğunu ifade etmektedir. İNS ana başlığı oluşturmada ki amaç, inşaat işlerine ait bir aktivitenin aslında iş kırılım yapısına (WBS) göre

gruplandırmasının yapılabilmesinin sağlanmasıdır. Mobilizasyon aşamasına ait aktiviteler ve proje başlangıcı ve bitişlerinin yapıldığı kilometre taşları "MOB" kodunda girilmiştir. Kazı, dolgu ve bunların nakliyesi gibi inşaat işleri aktiviteleri ise "GEO" kodunda düşünülmüştür. Temel, bodrum katı, normal katlar ve asansör kulesinde yapılan betonarme işleri ve prekast elemanların işlerine ait iş kalemleri ise "KABA" aktivite kodunda toplanmıştır. Belki de en çok iş kaleminin içerdiği "İNCE" aktivite kodu ise bina ile ilgili tüm mimari işleri içeriğinde barındırmaktadır. Planşe ve borulama, desant kablo işleri, asansör imalatı, ana besleme hatları, pano ve sigortalar, anahtar ve priz montajları, aydınlatma armatürleri ve test ve devreye alma gibi tüm elektrik işleri ise "ELK" aktivite kodundan girilmiştir. Son olarak, pis ve temiz su tesisatları, kalorifer tesisatı, doğalgaz boruları, vitrikiye armatür ve duşakabin montajları gibi tüm mekanik imalatlar ise "MEK" kodunda olması düşünülmüştür.

İşçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili formlar "FRM" aktivite kodu ile ifade edilmektedir. Uygunsuzluk Tespit Tutanağı, İşyerinde Uyulacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kuralları Tutanağı Gibi Tutanaklar ise "TUT" kod yapısında düşünülmüştür. İşçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sisteminde ki dokümanlarda en çok kullanılanlardan biri olan prosedürler ise "PRO" aktivite kod yapısı altında toplanmıştır. En başta işin başlangıcında ve yeni iş birimlerinin devreye girmesiyle belirli periyotlarla güncellenmesi gereken risk değerlendirme çalışmaları ise "RDE" ile gösterilmiştir. İş yerinde en çok sakınılan eylem olan kazalar ise, bu anda nelerin gerektiğini belirlemek için oluşturulan Kaza Olay Tespit dokümanları "KOT" adı altında oluşturulmuştur. İşçilerin bilinçlenmesi bir proje de kazaları engellemenin en önemli faktördür. Bu açıdan verilen eğitimler ise "EĞT" ile belirtilmiştir. İşçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili kontroller ise "KNT" ile ifade edilmiştir. Sel, deprem, yangın gibi acil durumlarda ise ayarlanması gereken acil durum halleri dokümanları "ACL" kodu ile ifade edilmiştir. İSG aktivitelerine ait aktivite kod yapısı Şekil 6 üzerinde gösterilmiştir.

Code Value	Description
FRM	Form
TAL	Talimat
TUT	Tutanak
PRO	Prosedür
RDE	Risk Değerlendirme
KOT	Kaza & Olay Tespit
EĞT	Eğitim
KNT	Kontroller
ACL	Acil Durumlar

Şekil 6. İSG aktivite kod yapısı.

K7, K6, K5, K4, K3, K2, K1, KZ, KB1 gibi başlıklar katlarda yapılan aktivitelere atanmıştır. Terasta yapılan işlemler ise "KÇATI" kod yapısı altında düşünülmüştür. Bazı imalatlar ise sadece bir kattan bağımsız genel olarak tüm proje için geçerlidir. Bunları kat bazında ayarlayabilmek adına ise "TÜM" adı altında bir kod yapısı oluşturulmuştur.

Belirlenen imalatlardan önce bitirilmesi veya doldurulması gereken formlar aktiviteler başlamadan 1 gün önce bitecek şekilde inşaat aktivitelerine bağlanmıştır. İşin özeline göre belirlenen ve uyulması gereken talimatlar ise işin öncesinde de bazı gereklilikler olabileceği düşünülerek inşaat aktivitelerinden 1 gün önce başlayıp aktivite süresi boyunca devam ederek inşaat aktivitesinin bitimi ile bitecek şekilde bağlanmıştır. Bu sayede inşaat işleri aktivitesinde meydana gelebilecek herhangi bir gecikme veya erken bitimde talimat aktivite ile birlikte uzayıp kısalabilecektir. İş yerinde uyulacak işçi sağlığı ve iş güvenliği kuralları tutanağı talimatlara benzer şekilde inşaat aktivitesinden 1 gün önce başlayıp aktivitenin bitmesiyle bitecek şekilde düşünülmüştür. Fakat Mobilizasyon aşamasında daha öncesi olmadığı için imalat ile başlayıp imalat ile bitecek şekilde tasarlanmıştır. En çok kullanılanlardan biri olan prosedürler ise her kaleme özel olarak atanmıştır. Bağlanış türü olarak talimatlara benzer şekilde işten 1 gün önce başlayıp iş ile birlikte devam ederek sonlanması ile de bitecek şekilde düşünülmüştür.

Tehlike ve Risk Değerlendirme dokümanları inşaat işlerinin en başında mutlaka yapılması gereken bir belgedir. Fakat iş sahası doğası gereği sürekli değişken bir yapıya sahiptir. Bu açıdan her an için farklı riskler ortaya çıkabilmektedir. Bu şekilde düşünüldüğünden ötürü Tehlike ve Risk Değerlendirme dokümanları projede herhangi bir aktiviteye bağlı kalmadan proje başlangıcı ile başlayıp projenin bitişine kadar bitecek şekilde atanmıştır. Bu sayede projenin her aşamasında yeni riskler oluştuğunda bu dokümanların doldurulabilmesi sağlanmıştır.

Kaza Olay Tespit dokümanları hiçbir yöneticinin veya çalışanın doldurmak istemediği belgelerdendir. Çünkü bu esnada belirli bir takipten ziyade çok daha ciddi sonuçlar doğurabilecek bir durum söz konusudur. Kaza projenin her anında meydana gelebilecek bir durum olduğundan dolayı bu da risk değerlendirme dokümanlarına benzer olarak proje başlangıcı ile başlayıp proje bitişine sonlanacak şekilde tasarlanmıştır.

İşçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili eğitimler normal şartlarda belirli periyotlarda iş yerlerinde gerçekleştirilir. Fakat çalışılan projede alt sigorta veya geçici görevlendirmeye sürekli yeni çalışanlar işe dahil olmaktadır. Yeni başlayan çalışanlara da daha önceden eğitilmiş ve bilinçli olsalar dahi, yeni bir şantiyede ki risklerle ve tehlikelerle ilgili bilinçlendirmek adına

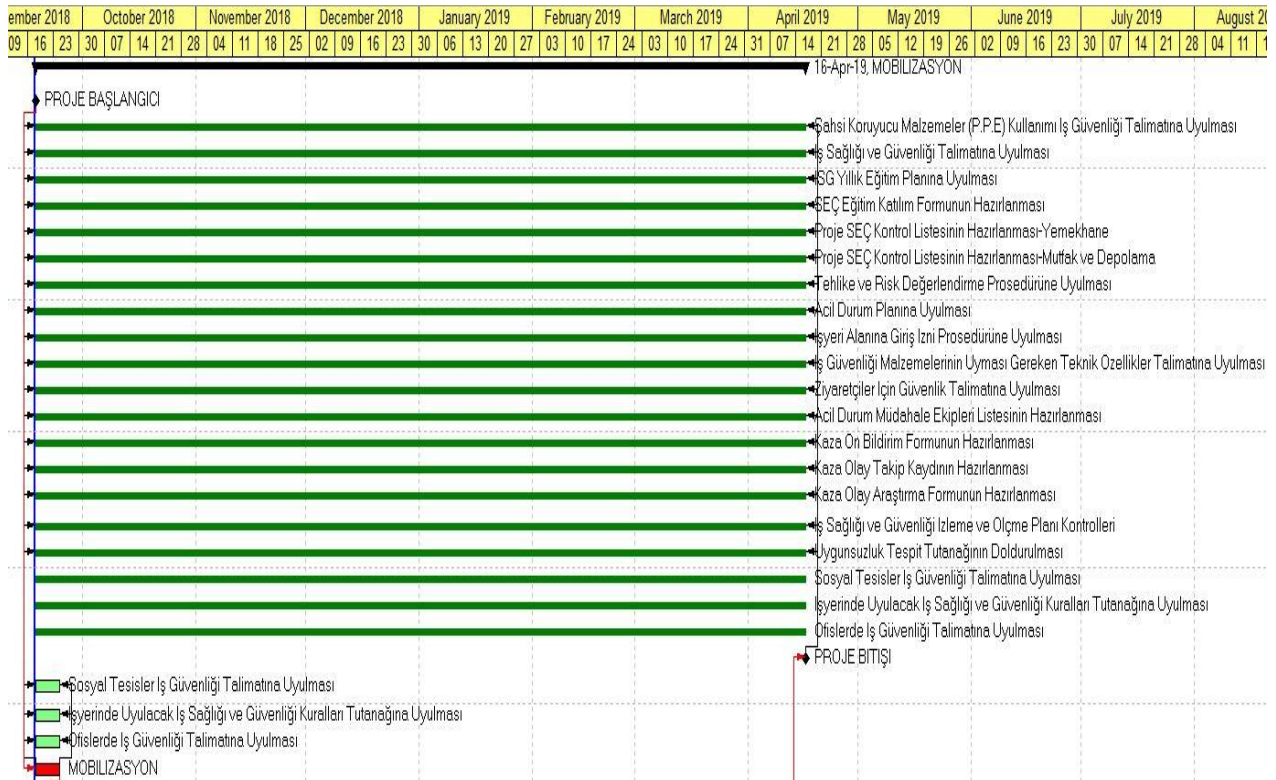
eğitimler yapılması söz konusudur. Bu açıdan eğitimler proje başlangıcı ile bitiş arasında ki her süreçte önem sahibidir. Böylece belirli bir işten bağımsız her aktivitenin öncesinde bu eğitimlerin alınmış olması gereklidir.

Kontroller grubunda mesleki yeterlilik belgesi kontrolleri her aktivite yapılmadan 1 gün önce tamamlanması gerektiği şekilde ilgili aktiviteye tanımlanmıştır. İlgili aktiviteyi yapacak kişilerin o işin ehli olduğunun kontrolü bu sayede yapılabilecektir. Fakat yemekhane mutfak ve depolama gibi proje SEÇ kontrol listelerinin hazırlanması ve en önemli dokümanlardan biri olan İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği İzleme ve Ölçme Planı Kontrolleri gibi kontrol evrakları tüm proje boyunca düşünülmelidir.

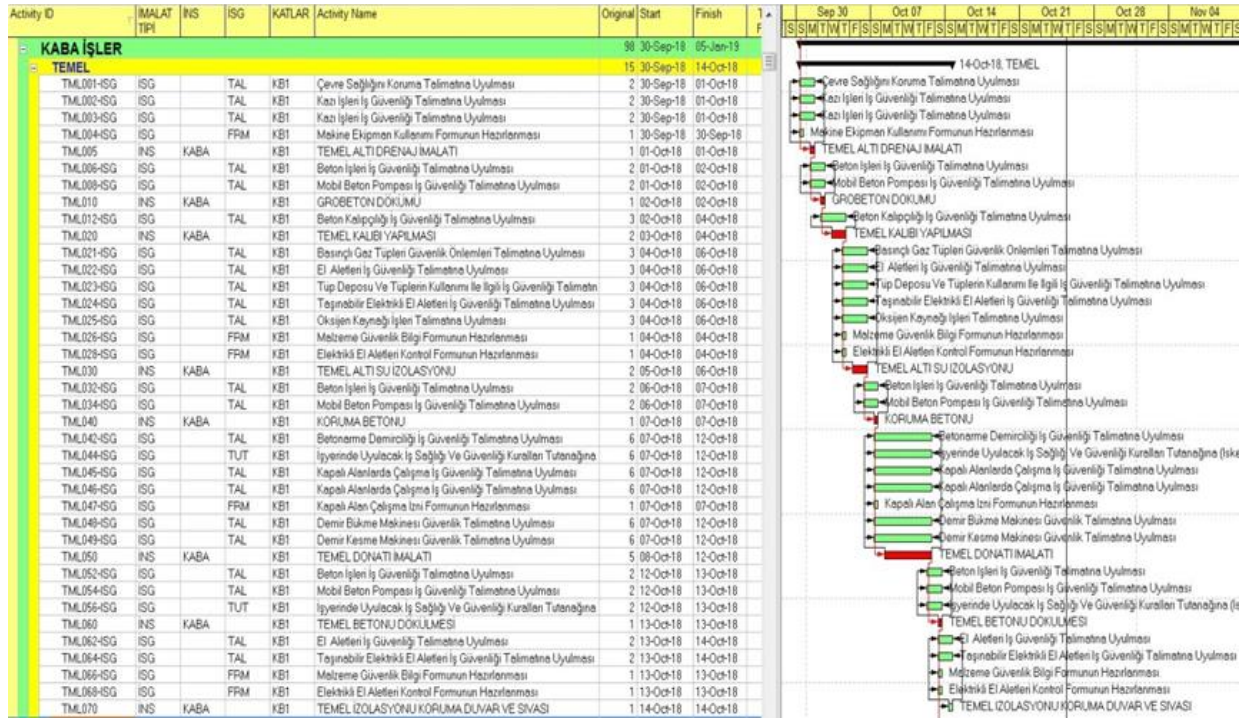
Acil durum evrakları adından da anlaşılacağı üzere beklenmedik her anda meydana gelebilecek bir durumdur. Bu açıdan acil durum planları projenin en başında hazırlanmalı ve ardından projenin sonuna kadar güncellenerek devam ettirilmelidir. Bu sayede inşaat tamamlanana kadar acil durum esnasında neler

yapılacağı veya ekiplerin ve sorumluların kimler olacağı belirlenmiş olacaktır.

Son olarak şahsi koruyucu malzemelerin kullanımı, genel iş güvenliği talimatlarına uyulması, iş yeri alanın giriş prosedürleri, ziyaretçiler için güvenlik talimatları gibi genel olarak herkesin uyması gerektiği ve her an olabilecek durumlar proje başlangıç ve bitişine göre ayarlanmıştır. Böylece projede ki gecikme veya erken bitişlerde bu durumlar otomatikman ayarlanmış olacaktır. Burada en önemli noktalardan bir tanesi ise proje başlangıcı ile bitiş arasında devam edecek iş güvenliği aktivitelerinin aktivite türünün level of effort olarak belirlenmesidir. Level of effort aktivite türü belirlenen bir imalat aralıklarda faaliyet gösteren fakat tam olarak aktivite gibi düşünülmeyen bir aktivite türüdür. Bunun yapılmasının amacı eğer aktivite türü Task Dependent olarak belirlenirse proje başlangıcından sonuna kadar tanımlandığı için kritik yolu üstlenmesidir. Kritik yolu diğer inşaat aktivitelerine aktarması açısından bu şekilde çözümlenmiştir. Genel proje boyunca ki kalemler Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Mobilizasyon aktivite akış şeması.



Şekil 8. Kaba işler temel bölümü aktivite düzeni ve akış şeması.

Belirtilen sistemler doğrultusunda inşaat işleri iş programı ile işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sisteminin entegrasyonu yapılmıştır. Tüm iş kalemleri için ayrı ayrı bu entegre akış şemaları oluşturularak projenin başından sonuna kadar tüm aktivitelere dair güvenlik planlaması kolaylıkla sağlanabilir. Kaba işlere ait akış şeması Şekil 8'de görülebilir.

İşçi sağlığı ve iş güvenliği ile inşaat iş programını entegre ederken konut projesinin planlama aşamasında yapım yöntemi, tasarım, miktar ve süre değişimleri göz ardı edilerek ele alınmıştır. İş planı yapılırken işin başında sabit bir metod işin başında belirlenmiş ve buna göre proje sonuna kadar devam etmiş. Aynı zamanda herhangi bir tasarım değişikliği veya miktar değişikliği gibi durumlar söz konusu olmadığı düşünülmüştür. Fakat inşaat sektörü yapısı gereği bir çok belirsizliği içerisinde barındırmaktadır. Bu belirsizlikler doğrultusunda başta yapılan planlamadan sapmalar tabii ki gerçekleşebilmektedir. Önemli olan bu değişiklikleri minimuma indirmeye çalışmak ve sonucunda nihai programı işin başında planlayabilmektir. İşin başında planlama yapıldıktan sonra inşaat süresince değişebilecek bazı faktörler aşağıda verilmiştir:

- Yapım Metodu Değişikliği,
- Tasarım Değişiklikleri,
- Miktar Değişikliği,
- Süre Değişikliği.

Yapım metodu değişiklikleri inşaat projelerinde sık görülen faaliyetlerdir. İşin başında planlanan metodun bir çok faaliyetten etkilenerek devre dışı kalması durumlarında proje yöneticileri farklı bir

çözüme gidebilirler. Bu da entegre bir güvenlik sisteminde yeni tehlikeler doğabileceği anlamı taşımaktadır. Bu sebeple eğer inşaatın herhangi bir bölümünde yapım değişikliği yapılacaksa yeni risk analizleri yapılması gerekmektedir. Risk analizlerinin ardından bütünlük sistemine yeni form, prosedür ve talimat gibi yeni doküman eklentileri yapılacaktır. Burada önemli olan konu metod belirlendikten sonra işin acil olması göz ardı edilerek önce güvenlik tedbirlerinin alınmasıdır. Aynı zamanda eski metoda ait güvenlik dokümanlarının planlama tablosundan çıkartılmasının karmaşadan kurtulmak açısından yararı bulunmaktadır.

Yapım metodu değişikliklerinde yeni dokümanlar geldiğinde işin özelinde inşaat işi ile işçi sağlığı ve iş güvenliği dokümanları arasında ki ilişki tipinde değişiklikler gözlenebilir. Bazı formlar iş özelinde belki de 1 gün öncesi yerine herhangi bir yerden izin alınması gerektirdiğinden dolayı 1'den fazla gün öncesinden doldurulması istenebilir. Bu açıdan inşaat işlerinde bir gecikme olmaması açısından dokümanların iyi analiz edilip ilişki tiplerinde ona göre girilmelerinde yarar olabilir.

Tasarım değişiklikleri ise projelerimizin vazeçilmezleri arasında yer almaktadır. Mal sahibi ön tasarım ve tasarım aşamasında isteklerini açıkça ifade eder. Fakat sonrasında yapım esnasında zorunlu veya keyfi sebeplerden dolayı tasarım değişikliklerine oldukça rastlanılmaktadır. Bu açıdan tasarım değişikliği gerçekleştiği anda işçi sağlığı ve iş güvenliği gözü ile de durumu incelemek gerekir. Örneğin; bir işi bir işçi normal ayaklarının üzerinde durduğu seviyeden gerçekleştirdiğinde herhangi bir

yüksekte çalışma riski söz konusu değildir. Fakat tasarım değişikliğinden ötürü işçi işi yapmaya yetişemeyeceği düşünülürse, bu işçi ve iş için yüksekte çalışma riskleri devreye girecektir. Bu yüzden o iş kapsamında yüksekte çalışma güvenlik dokümanları orada bulunmalıdır. Bu tarz değişikliklerde pek fazla ilişki tipinde oynama gerçekleşmemektedir. Fakat tasarım tamamen farklı bir metoda yol açacaksa ilişki tiplerinde de farklılıklar meydana gelebilmektedir. Aynı şekilde tasarımın durumuna göre, malzeme değişiklikleri gibi konularda başta prosedür ve talimatlar olmak üzere işçi sağlığı ve iş güvenliği dokümanları da değişebilmektedir.

Metrajlar genelde projenin başında net olarak çıkartılsa da sahada uygulanma esnasında tasarım ve yapım metodu değişiklikleri göz önüne alındığında değişiklik gösterebilmektedir. Miktarın değişmesi süreyi değiştirebilir. Aksi halde sürenin sabit kalmasını istiyorsak ya çalışan yoğunluğunu artırmamız ya da bir işçiden mesai yapması veya daha verimli çalışmasını beklememiz gerekir. Bu da işçinin dikkat seviyesini dağıtacağından veya acele çalışacağından dolayı kaza risklerini de artırmaktadır. Bu açıdan yönetim sistemleri açısından, dokümanların ilişki tipleri açısından ve yeni dokümanlar açısından değişiklik olmayacaktır. Fakat işin daha dikkatli, daha güvenli gerçekleşmesi için daha çok önem verilmesi gerekecektir. Konut projesinde yapılan bu sistemde metrajdan ve süreden kaynaklı değişiklikler olduğunda sistem değişen süre ile birlikte hareket edecek seviyede planlanmıştır. Fakat yine de geniş kapsamlı bir bütünlük planlama ile daha spesifik işe bağlı küçük detaylı planlamalar yapılırsa güvenlik riskleri oldukça düşecektir.

Akış şeması her iş kalemi için ayrı ayrı yapılarak şantiye başında oluşturulduğu taktirde kişiden bağımsız olarak her türlü çalışan için yönlendirici bir görev üstlenecektir. İşin başlangıcında konuya hakim bir çalışanın işten çıkma durumunda ise bu kurallar sabit kalacağı için yeniden adapte olması kolaylaşacaktır. Takip edilen iş akış şemaları yardımıyla şantiye ve ofis bölgelerinde bütünlük bir işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi oluşturulmuş olacaktır.

Oluşturulan bu yönetim sisteminin en önemli katkılarından biride tartışmasız insanların bilinçlenmesini sağlayarak kazaların, meslek hastalıklarının, hatta ölümlerin önüne geçilmesidir. İnsanlar görsel bir tablo üzerinde gördükleri bir şemayı bir kez de olsa uyguladıklarında hafızalarında kalıcı olarak yer alacağından dolayı bütünlük bir işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sisteminin olmadığı durumlarda bile talimatlara ve prosedürlere uymaya ve formları doldurmaya özen gösteriyor olacaklardır.

Kaynak kısmında ise, bu makale kapsamında sadece işçi sağlığı ve iş güvenliği dokümanları atanmıştır. Fakat daha ileri bir bütünlük sistemde ilgili işin

sorumluluğunun kim olacağını belirlemek için sorumluluk kaynağı ve o iş için yapılması için ne gibi ekipmanlara ihtiyaç olduğunu anlamak için malzeme ve ekipman kaynağı atanabilir. Bununla ilgili bir örnek projenin gaz işleri bölümüne uygulanmıştır ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Bahsedilen örneğe göre personel sorumluluğu olarak İSG uzmanı, Şantiye şefi, Saha mühendisi veya vinç veya ekipman operatör sorumluluk listesine girebilir. Aynı şekilde doküman hazırlanırken kullanılacak her türlü ekipmanda buraya işlenebilir. Oksijen kaynağı işi sırasında herhangi bir patlayıcı gazın bulunması oksijen kaynağından çıkabilecek bir kıvılcım patlamaya sebebiyet verebileceğinden dolayı bu şekilde bir örnek oluşturulmuştur.

DOĞALGAZ BORUSU MONTAJI						
GAZ001-İSG	İSG		TAL	TÜM	Montaj İşleri İş Güvenliği Talimatına Uyulması	
GAZ002-İSG	İSG		TAL	TÜM	Elektrik İşleri İş Güvenliği Talimatına Uyulması	
GAZ003-İSG	İSG		TAL	TÜM	Taşınabilir Elektrikli El Aletleri İş Güvenliği Tali	
GAZ004-İSG	İSG		FRM	KZ	Elektrikli El Aletleri Kontrol Formunun Hazırlanır	
GAZ005-İSG	İSG		TAL	TÜM	Borulama İşleri İş Güvenliği Talimatına Uyulması	
GAZ006-İSG	İSG		TAL	TÜM	Oksijen Kaynağı İşleri Talimatına Uyulması	
GAZ007-İSG	İSG		FRM	KZ	Sıcak İş Çalışma Kontrol Formunun Hazırlanması	
GAZ010	İNS	MEK	FRM	KZ	ZEMİN KAT DOĞALGAZ BORUSU MONTAJI	

Resource Name	Curve	Cost Account
Gaz Ölçüm Cihazı		
Oksijen Kaynağı İşleri Talimatı		
Saha Mühendisi		
İSG Uzmanı		

Şekil 9. Malzeme ve iş gücü kaynağı.

Yapılan akış şemaları ve bütünlük sistemler teknolojinin bu konuda da gelişimini tetikleyip daha kullanışlı programlar ve sistemler oluşmasına sebebiyet verebilecektir. Bütünlük iş akış şemaları her iş kalemi için oluşturulmalıdır. Örneğin kazı işleri için düşünülürse, öncelikle proje başlangıcı ve proje bitişleri akış şemasının sırasıyla başında ve sonunda bulunmaktadır. Proje başlangıcından proje sonuna kadar spesifik olarak sadece bir işe bağımlı olmayan, istisnasız her türlü işte uyulması gereken talimatlar, prosedürler, hazırlanması gereken formlar ve acil durum planları gibi işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi dokümanları proje başlangıcından proje bitişine direkt olarak bağlanmaktadır. Bu dokümanlar hazırlanmadan önce iş asla başlamamalı, iş öncesinde ki evraklar tamamlanmış fakat iş sırasında belirli prosedür ve talimatlara uyulmadığı taktirde de derhal iş durdurulup gerekli önlemler alındıktan sonra tekrar aktivasyona geçilmesi gerekmektedir. Bahsedilen faktör iş akış şemasında ‘talimatlara, prosedürlere tutanaklara uyuldu mu? Formlar hazırlandı mı?’ ibaresi ile yönlendirilmesi yapılmıştır. Son olarak ise, işin kendine özgü akışı şemanın içine dahil edilerek akış şeması bitirilebilir.

IV. SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

İşçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili yapılan çalışmalar her ne kadar yüz yıllar öncesine dayansa da, gerçek anlamda önem verilmeye başlanması ve bu doğrultu da her geçen gün verilen önemin artması yaklaşık son 30 yıla dayanmaktadır. Verilen önem kapsamında sahada

birçok güvenlik tedbiri metodu bulunmuş ve uygulanıyor olsa da iş kazaları ve meslek hastalıkları halen devam etmektedir. Bahsedilen iş kazaları ve meslek hastalığı sonucu ölümleri ve yaralanmaları bir de inşaat döngüsünün geri planında, daha net ifade etmek gerekirse tasarım ve planlama aşamasında değerlendirmek gerektiği düşünülmüştür. Yapılan literatür taramasında da görüldüğü üzere 1990'lı yıllardan itibaren işçi sağlığı ve iş güvenliği ile proje yönetim döngüsünün beraber ele alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. İş güvenliği konularının proje yönetime entegrasyonu anlamında ise çeşitli metotların geliştirilmiş olduğu görülmektedir.

İş kazalarının ve meslek hastalıklarının yaşanmasının en büyük sebeplerinden biride proje yönetim döngüsünün en önemli yapı taşlarından bir tanesi olan süre kavramı ile işçi sağlığı ve iş güvenliği kavramını birleştiren herhangi bir sistemin bulunmamasıdır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde herhangi bir projede kullanılan süre entegreli bir işçi sağlığı ve güvenliği sistemi görülmemektedir. Günümüze kadar işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili birçok tedbir düşünülse de süre odaklı ve entegreli bir sağlık planı düşünülmesinin temel nedenlerinden bazıları ve bununla ilişkili bu iki sistemin entegrasyonu sırasında insanların problem olarak görebileceği bazı hususlar aşağıda bahsedilmiştir:

- Zaman ve bütçe: Bu makale kapsamında yapılan çalışmada olduğu gibi, yapılan çoğu çalışmada, CPM metodunun üzerine ayrıca oluşturulup entegre edilmesi gereken bir İSG yönetim programı oluşturulması gerekmektedir. Her proje tek ve tekrarlanamaz olduğu için, yapılan aktiviteler de farklı olacaktır. Bu yüzden her proje için ayrı bir İSG yönetim programının oluşturulması gerekmektedir. Bu da firmalar tarafından zaman ve iş yükü gibi görülebilir.
- Sistemin karmaşıklığı: Bir inşaat projesi, birbirine karmaşık bir şekilde bağlanmış, çok sayıda aktivite içermektedir. Günümüzde, firmalar şantiyelerde sadece süresel planlamanın oluşturulması ve takibini bile bir hayli zor olarak görüyorken, bu sisteme İSG yönetim sisteminin entegre edilmesiyle kullanılabilirlik açısından firmalara zorluk hissi katabileceği düşünülebilir.
- Yönetimsel yaklaşım: Günümüzde inşaat projelerinde işçi sağlığı ve iş güvenliği ne yazık ki gereken önemi görmemektedir. Bu noktada, makalede önerilen bu sistemin, inşaat firmaları tarafından kabul görüp görmeyeceği bir soru işaretidir. Şirketler tarafından, işçi sağlığı ve iş güvenliği önlemlerinin alınmasında ortaya çıkan maliyetler bir külfet olarak görülürken, iş kazaları sonucu ortaya çıkan yüksek maliyetler ne yazık ki göz ardı edilmektedir.
- Personel yeterliliği problemi: İş kazalarının

ağırlıklı olarak orta ve küçük çaplı inşaat şirketlerinde daha fazla meydana geldiğinden bahsedilmiştir. Orta ve küçük çaplı inşaat şirketlerinin birçoğunda maalesef ki personellerden mevcut çalışma saatlerinde kişinin yapabileceğinden fazla sorumluluklar yüklenmektedir. Bu nedenle bir de üstüne personelin bu sorumluluğu alması, sistemin etkili ve ne derece ciddiyetle kullanılabilirliğini düşündürmektedir.

Bilindiği üzere, inşaat proje yönetimi altı temel başlık (genel proje yönetimi, süre, maliyet, kalite, işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetimi ve sözleşme idaresi) ve bunlara yeni eklenen sürdürülebilirlik, bina enformasyon modellemesi ve risk yönetimi başlıklarından oluşmaktadır. Yapılan yanlışlardan birisi, tüm bu başlıkları ayrı uzmanlık alanları olarak görmek olup, tüm bu temel başlıkların birbirleriyle tümleşik bir yapıda bir sistem oluşturduğu gözden kaçırılmaktadır. Sistem yaklaşımı açısından bakıldığında, tüm bu başlıklar inşaat proje yönetim sisteminin birbiriyle ilişkili öğeleridir ve ancak her biri öyle anlam kazanmaktadır. İnşaat proje yönetim sisteminin bir alt sistemi veya başka bir ifadeyle yürütülmesi için gerekli bir sistem olan bilgi/ belge yönetim sistemi de bu öğelerin içiçeliğini gerektirmektedir. Genel proje yönetimi (prosedürler, iletişim kanalları, sorumlulukların belirlenmesi), etkin bir bilgi/ belge takibi yapılamaz. Süre yönetimi entegre bir başlık olarak görülmediğinde, inşaat projesi boyunca herhangi bir anda hangi iş kalem(ler)inin ne zaman başlayacağı, ne zamana biteceği, öncül ve ardıl işlemlerin neler olacağı, bu iş kalem(ler)inin ne kadara maliyetle gerçekleştirileceği, nasıl bir kalitede yapılacağı, sözleşmede hangi maddeler çerçevesinde belirlendiği, ne gibi riskler taşıdığı, hangi bilgilerin bina enformasyon modeline aktarılacağı ve son olarak da bu makalede altı çizildiği üzere işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından hangi sağlık ve güvenlik riskleri taşıdığı önceden bilinemeyecektir. Sağlık ve güvenlik konularını tamamen iş müfettişlerince gerçekleştirilen denetimlere veya iş güvenliği uzmanlarınca yapılan rutin izlemelere indirgemek, İSG yönetimini entegre proje yönetim sisteminden çekip çıkarmak anlamına gelecektir. Bu çalışmada, İSG yönetiminin olmazsa olmaz bir proje yönetim başlığı olduğu vurgulanmış ve bu başlığın nasıl entegre edileceğine dair pek çok öneriler getirilmiştir.

Bahsedilen eksiklikler göze alınarak makale kapsamında da konut projeleri için kolay uygulanabilir bir süre entegreli işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi kurulmaya çalışılmıştır. Bu yönetim sistemi hedef kitle olarak inşaat, elektrik ve makine mühendisleri, mimarlar ve iş güvenliği uzmanlarına yöneliktir. Burada şu hususların altı çizilmelidir; inşaat projeleri proje öncesinde ve süresince, mimarların, elektrik ve makine mühendislerinin sürekli birlikte çalışmasını gerektiren süre, maliyet ve sözleşme

şartları kısıtlarının olduğu projelerdir. İşçi sağlığı ve iş güvenliği açısından bakıldığında da bu, elektrik işlerinde, mekanik/tesisat işlerinde, mimari tasarım detaylarında, inşaat mühendisinin ve onunla birlikte hareket etmesi gereken iş güvenliği uzmanının sürekli bir risk değerlendirmesini, yeri geldiğinde tehlikeleri önleme ve riskleri azaltma hiyerarşisi kapsamında düzeltici ve önleyici faaliyetleri işaret etmektedir. Sözgelimi bir doğalgaz ısıtma sistemi kurulumundaki riskler makine mühendisinin, dış cephedeki bir detayın inşasındaki zorluklar bir mimarın (yeri geldiğinde tasarım revizyonunu da içeren), binanın elektrik sistemindeki riskler ve olası sonuçları bir elektrik mühendisinin katılımı olmadan çözüme kavuşturulamaz. Tüm bu hususlar da, her iş kaleminin takibini, her iş kalemiyle ilişkili tarafları, iş programı kapsamında takip etmeyi ve bilgi/belge izleme/takip sürecini gerektirir. Bu bakımdan sunulmakta olan çalışmanın bir yaklaşım sunduğu ve aynı zamanda gelecekte yapılacak çalışmalara (maliyet, kalite, sözleşme konularını da kapsayan) yardımcı olacağı düşünülmektedir. İşçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi ile inşaat işleri planlamasının entegrasyonundan doğan entegre program sayesinde inşaat alanında bulunan tüm tarafların işçi sağlığı ve iş güvenliği bilinçleri artacak ve iş güvenliği uzmanları ve teknik ekip her aktivitenin öncesinde, sonrasında ve sırasında nelerin yapılması gerektiğini bilecek ve bu konuda hazırlıkların yapılmasının daha rahat olması sağlanacaktır.

Makalenin uygulama bölümünde yapılan çalışma sayesinde sistemin kullanılabilirliği denetlenmiş ve kolaylıkla entegre edilebileceği ve uygulanabileceği sonucuna varılmıştır. Normal süresel iş programını oluşturmaktan daha fazla zaman gerektireceği tartışılmaz bir gerçek olsa da, bu sistemin oluşturulmasından kaynaklı en başta kurtarılacak her can bu zaman kaybının ne derece önemsiz olacağını bir kanıttır. Aynı zamanda can kaybindan sonra mal kayıpları, ödenecek tazminatlar ve meslek hastalığı nedeniyle çıkan problemlerinde önüne geçilebileceği düşünülürse bu bir zaman kaybı olarak düşünülmemelidir. Öte yandan iş programının hazırlanma sürecinin yalnızca süresel planlama yazılımlarını kullanan teknik elemanların, iş kalemlerini belli bir sıra ve mantık içinde sıralaması olmadığı bu çalışmayla anlaşılmaktadır. İş programının hazırlanma sürecinin, gerek işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından, gerekse de inşaat proje yönetimi ilkeleri açısından bakıldığında farklı uzmanlıkların katılımını gerektirdiği, yapım aşamasından önce bu tarafların katılımının pek çok hususu kolaylaştıracağı belirtilmelidir. Sunulan çalışma, her iş kalemiyle ilişkili mümkün olan en fazla bilgiyi toplamayı gerektirmekte, bu da daha önce belirtildiği üzere, yalnızca inşaat mühendislerinin değil, mimar, iş güvenliği uzmanı, elektrik ve makine mühendislerinin (tesis gibi projelerde kimya mühendisleri ve ilgili diğer disiplinler de dahil edilmelidir) iş programı sürecinde

bulunmasının avantajlarını da ortaya koymaktadır. Zira herhangi bir iş kalemindeki riskler, bu riskleri ortadan kaldırma/azaltma faaliyetleri farklı disiplinlerin bilgisinden yararlanmayı zorunlu kılmaktadır.

Makalenin bir diğer avantajı olarak ise şantiye uygulamaları esnasında ki teknik personele katkısı da düşünülebilir. İşçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi ile iş programının entegrasyonu iş güvenliği uzmanlarına şantiye sahasında yapılan işler açısından bilgi, birikim ve tecrübe kazandırırken, inşaat, elektrik, makine mühendislerine, mimarlara ve sahada sorumlu teknikerlere de iş güvenliği konusunda ki bilincini artırmaktadır.

Aynı zamanda Türkiye’de inşaat sektöründe bulunan firma sayısı oldukça fazladır. İşçi sağlığı ve iş güvenliği hassasiyetinin gelişmesiyle yeni bir iş olanağı ortaya çıkabilir. Her firma uygulamış olduğu projelerde 1 adet personeli bu iş için görevlendirdiği takdirde çalışma hayatında ki iş bulamayan bir çok kişiye umut olacaktır.

Bir diğer avantajı ise, bu zamana kadar işçi sağlığı ve iş güvenliği konuları planlama departmanından tamamen bağımsız düşünülmektedir. Bu çalışma sayesinde işçi sağlığı ve iş güvenliği konuları henüz planlama aşamasındayken ortaya konulmaya başlanacak ve yönetim ekibinde bilinçlenmesiyle daha organize yürüyecektir. Bu sayede planlama ekipleri inşaat işlerinin yanında işçi sağlığı ve iş güvenliği konularında da hakimiyet sahibi olacaklardır.

Çalışma literatüre kattığı değer anlamında değerlendirildiğinde ise, işçi sağlığı ve iş güvenliği ile proje yönetiminin entegrasyonu anlamında çalışmalar yapıldığı görülse de, bu entegrasyon kapsamında ISO 45001 standardıyla ve sektörde uzman iş güvenliklerinin fikirleri alınarak oluşturulmuş entegre bir iş güvenliği yönetim sistemine rastlanmamıştır. İşçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi ve inşaat işleri iş programının entegrasyonuna benzer çalışmaların devamı olması niteliğinde ve bu doğrultuda iş kazaları ve meslek hastalıklarını önleme amacıyla düşünülen bazı öneriler aşağıda verilmiştir:

- Uygulanabilir sistemlerin kurulması: 1997 yılında ABD’de Kartam tarafından yapılan araştırmada da bahsedildiği gibi iş programları kendi içinde çok katmanlı ve karmaşık olup takibi oldukça zordur. 1997 yılından günümüze gelindiğinde teknolojinin gelişmiş olmasıyla bu alanda kullanılan programlar daha kullanıcı dostu hale gelmiştir. Ancak bu makalede yapılan çalışma sonucunda da görülmüştür ki, entegrasyon bu sistemi daha karmaşıklaştırmaktadır. Bunun sebebi, İSG yönetim sisteminin iş programına aynı ortamda dahil edilmesidir. Bunun önüne geçebilmek için farklı bir yazılım geliştirilebilir. Bu yazılımın Primavera P6 gibi iş programı oluşturulan yazılımlarla

entegrasyonu sağlanabilir.

- Sistem kurulum maliyeti ile iş kazası maliyetlerinin karşılaştırılması: Sistem kurulumu sırasında harcanacak olan ekstra zaman ve iş gücünün şirketler tarafından kabul edilebilmesi için, proje yapım aşamasında meydana gelebilecek iş kazaları sonucunda oluşacak maliyetlerin, sistemin oluşturulması için oluşacak maliyet ile karşılaştırılarak, bu sistemin fayda sağlayıp sağlamadığı ölçülmelidir.
- Yasal düzenleme: Süresel planlama ve İSG programının entegrasyonu sonucunda oluşan sistemin kullanılabilirliğini artırmak amacıyla, özel sektöre müdahale edilemiyor olsa da, ilk aşamada kamu ihalelerinde bir düzenlemeye gidilebilir. Bu kapsamda, Kamu İhale Kanunu düzenlenerek, şirketlerden istenen iş programının yerine, süresel planlama ile İSG programının entegrasyonunun sağlandığı bir program istenmelidir [9].
- Pratiğe uygun çalışmalar: İşçi sağlığı ve iş güvenliği ile iş programının entegrasyonu kapsamında yapılacak çalışmalarının teorik çalışmalardan ziyade pratikte uygulanabilecek çalışmalar olabilmesine önem gösterilmelidir.
- Farklı tip projelere uygulanması: Bu makale kapsamında konut projelerine uygun bir entegre yönetim sistemi kurulmuştur. Devamı olabilecek çalışmalarda ise farklı proje türlerine göre sistemler kurulabilir.

Sonuç olarak, bu makalede ki iş güvenliği entegre yönetim sistemi kavramının uygulama sahasında kabul görülebilirliği açısından mevcut çalışmaların geliştirilmesi ve ilave olarak yeni çalışmaların yapılması gerekmektedir. Literatür çalışmalarında da belirtildiği üzere işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda entegre yönetim sistemleri geçmişte üzerinde durulmayan konular iken, günümüzde önem verilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemi ile proje yönetim döngüsünün entegrasyonunun uygulanamayacak bir çalışma olarak görülmemeli ve geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), 2016, Türkiye İş Sağlığı ve Güvenliği Profili
- [2] Karadeniz, O., 2012, Dünya’da ve Türkiye’de İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları ve Sosyal Koruma Yetersizliği, Çalışma ve Toplum, 2012/3.
- [3] TMMOB, 2018, Makine Mühendisleri Odası İSG Raporu.
- [4] Korea Occupational Safety and Health Agency 2010 www.kosha.or.kr., 8.30.
- [5] Loosemore, M., Andonakis, N., 2007. Barriers to implementing OHS reforms – the experience of small subcontractors in the Australian construction industry.

International Journal of Project Management 25, 579–588.

- [6] İNTES, 2018. Türkiye İnşaat Sanayicileri İşveren Sendikası, İnşaat Sektörü Raporu.
- [7] Stanton, W., and Willenbrock, J. (1990). Conceptual framework for computer-based construction. safety control. J. Constr. Engrg. And Mgmt., ASCE, 116(3),s.383-398.
- [8] APM, (2000), Body of Knowledge, Association for Project Management, Orton Southgate.
- [9] Sevim, M, Güranlı, G. (2019). İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliği (İsig) Sisteminin İnşaat Uygulama İş Programına Entegrasyonu, Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (2), 19-33. DOI: 10.20854/bujse.447676
- [10] ANSI/AIHA Z10-2005-2012: American National Standards Institute/American Industrial Hygiene Assosication Occupational Health & Safety Management Systems
- [11] Egan, J. (1998). Rethinking Construction, scope for improving the quality of UK Construction London, Construction Task Force.
- [12] Crosby, P. B. (1979). Quality is Free: The Art of Making Quality Certain. New York, McGraw-Hill Book Co.
- [13] Hinze, J. and H. W. Parker (1978). "Safety: Productivity and Job Pressures." Journal of the Construction Division 104(1).
- [14] Tarrants, W.E., (1980). The Measurement of Safety Performance, Garland STPM Press, New York.
- [15] Levitt, R., and Kartam, N. (1990). Expert systems in construction engineering and management: state of the art, Knowledge Engrg. Rev. J., 5(2), s.97-125.
- [16] Kartam, N. (1997) Integrating safety and health performance into construction CPM. ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 123(2), 121–6.
- [17] Saurin, T.A., & Formoso, C.T., & Guimaraes , L.B.M.,(2001), Integrating Safety into Production Planning and Control Process : An Explotary Study, In Proceedings of the 9th annual conference of the international group for lean construction, Singapore.
- [18] Güranlı, E. "Health & Safety Management Lecture Note" Safety Management in Construction Projects, Istanbul Technical University, Istanbul, (2018).
- [19] Davies, I., K., (1971). The Management of Learning, London: McGraw-Hill
- [20] Osborn, A.F. (1957). Applied imagination: Principles and procedures of creative problem solving (third rev, ed.). New York, NY: Charles Scribner's Sons.
- [21] Orlich, I. (1990). The Mioritic Space as Poutical Subversion: The Poetry of Marin Sorescu. Southeastern Europe, 17(1), 1-19. https://doi.org/10.1163/187633390X00019.
- [22] Demirel, Ö. (1995). Genel Öğretim Yöntemleri, Usem Yayınları II, Ankara.

1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemlerde Gerilim Harmoniği Probleminin AGT Tabanlı Paralel Aktif Güç Filtresi ile Çözümü

Solution of Voltage Harmonic Problem in 1500 V DC Powered Rail Systems by IPT Based Parallel Active Power Filter

Mehmet Taciddin AKÇAY¹ , İlhan KOCAARSLAN² 

¹ İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Raylı Sistem Daire Başkanlığı, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

Öz

Enerji kalitesi elektrik güç sistemlerine bağlı ekipmanların verimi ve performansı için gerekmektedir. Enerji kalitesinin ana hedefi yüke ulaşan gerilim ve akım sinyalinin en iyi derecede sinusoidal dalga şekline sahip olmasıdır. Sistemde nonlineer devre elemanlarının varlığı harmoniklerin üretilmesine neden olmaktadır. Harmonikler enerji kalitesini olumsuz etkileyerek sistem performansını düşürmektedir. DC beslemeli raylı sistemler nonlineer elemanlardan oluştuğu için sistemde harmonikler oluşmaktadır. Bu çalışmada 1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemlerde Gerilim Harmoniği Probleminin AGT (Anlık Güç Teorisi) Tabanlı Paralel Aktif Güç Filtresi ile Çözümü benzetim yoluyla yapılmıştır. AGT ile zamanda oluşabilecek gecikmelerin önüne geçilebilmesi hedeflenmiştir. Aktif filtre ile klasik filtreleme yöntemleri karşılaştırılarak sonuçlar elde edilmiştir. Sistem analiz edilerek elde edilen sonuçlar grafikler üzerinden verilmiştir. Devre filtrelili ve filtresiz olarak çalıştırılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Her iki duruma ait gerilim THD (Toplam harmonik distorsiyon) değeri hesaplanarak elde edilen iyileştirme ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Analiz, Besleme, Harmonik, Raylı, Sistem

Abstract

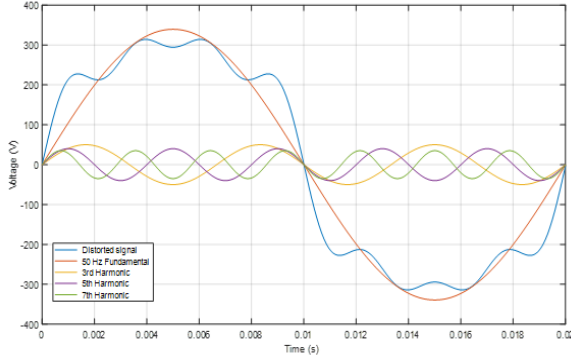
Energy quality is required for the efficiency and performance of equipment connected to electrical power systems. The main objective of the energy quality is that the voltage and current signal reaching the load has the best sinusoidal waveform. The presence of nonlinear circuit elements in the system leads to the generation of harmonics. Harmonics adversely affect energy quality and reduce system performance. Since DC powered rail systems consist of nonlinear elements, harmonics are formed in the system. In this study, voltage harmonic problem in 1500 V DC supply rail systems is solved with IPT (Instantaneous Power Theory) based parallel active power filter by simulation. With the IPT, it is aimed to prevent delays in time. The results were compared with active filter and classical filtering methods. The results obtained by analyzing the system are given on the graphs. The results obtained by operating the circuit with and without filter are given comparatively. The voltage THD (Total harmonic distortion) value of both cases was calculated and the improvement obtained was demonstrated.

Keywords: Analysis, Feed, Harmonic, Rail, System.

I. GİRİŞ

Enerji kalitesi güç sistemlerinin dağıtımında alt sistem verimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Elektrik güç temini sisteminin ana görevi sinusoidal dalgalı gerilimi sağlamaktır [1]. Şehir içi demiryollarında cer gücü için tercih edilen DC gerilim beraberinde güç kalitesinde bir takım problemleri ortaya çıkarmaktadır. Enerji kalitesinin düşük olması işletmesel ve ekonomik kayıplarla birlikte aşırı yüklenmeye, güç kayıplarının oluşumuna, aşırı gerilime, aşırı akıma, rezonans olayına ve güç dengesi bozukluklarına neden olmaktadır. Güç kalitesi probleminin çözümü uzun yıllardır üzerinde çalışılan bir konudur [2]. DC sistem yapısında lineer olmayan devre elemanlarını içerdiği için şebekeye gerilim harmonikleri üretilmektedir. Gerilimde, akımda ve frekansta meydana gelen düzensizlik neticesinde güç kalitesi sorunu oluşmaktadır [3]. 50 Hz olan temel frekans dışında üretilen harmonikler sistemi olumsuz etkilemektedir. Harmonikler gerilim sinyalinin sinusoidal dalga şeklinden sapmasına neden olmaktadır. Bu durum neticesinde yüke ulaşan gerilim saf sinusoidal şeklinde olmadığı için ekipman performansı olumsuz etkilenmektedir. DC beslemeli demiryollarında DC gerilim orta gerilim sisteminden elde edilen AC gerilimle sağlanmaktadır. İndirici merkezden elde edilen gerilim doğrultucunun girişine uygun gerilim seviyesine indirilerek dönüşüm gerçekleştirilmektedir. 1500 V DC beslemeli demiryollarında bu gerilim 34.5 kV mertebesinde 1.22 kV mertebesine dönüştürülerek doğrultucu girişine aktarılmaktadır. Lineer olmayan devre elemanları

harmonikler üreterek sistemden reaktif güç çekilmektedir [4]. Reaktif güç ve harmonikler sistem üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır [5]. Reaktif gücün kontrolünde statkom ekipmanı yaygın olarak kullanılmaktadır [6-7]. DC beslemeli demiryollarında doğrultucu sistemi 6 darbeli doğrultucu sisteminden oluşmaktadır. Harmonikli gerilime ait dalga sinyali şekil 1 ile gösterilmektedir. Toplam dalga 50 Hz, 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz ve 450 Hz frekansta dalga sinyallerinden oluşmaktadır.



Şekil 1. Harmonikli gerilim sinyali

DC demiryollarında oluşan harmonik probleminin çözümü için bir takım yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar pasif ve aktif filtreleme metotları olarak iki kategoride incelenmektedir. Pasif filtreyi oluşturan bileşenler direnç, endüktans ve kondansatör gibi pasif devre elemanlarıdır. Pasif filtreler sistemin spesifik özelliklerine göre tasarlanmakta olup bu tip filtreleme işleminde sistemin belirli frekanslarına göre filtreleme yapılmaktadır. Aktif filtreleme işleminde ise sistemde mevcut durumda, üretilen akım veya gerilim harmoniklerinin hesaplanması ile filtreleme işlemi gerçekleştirilir. Pasif filtreler ile ortadan kaldırılmak istenen harmoniklere uygun frekansta belirlenen endüktans ve kapasite değerleri seçilerek rezonans olayı meydana getirilir ve toplam reaktans çok küçük bir değer alır. İlgili frekansın tanımı endüktif ve kapasitif reaktansları birbirine eşit yapan frekanstır. Kalite faktörü ise, ayar keskinliğini belirlemektedir. Pasif filtreleme işlemi harmonik frekansına uygun olarak seçilen filtreler sisteme bağlanarak gerçekleştirilmektedir. Ancak bu filtreleme çeşidinde sistemin davranışı statik kabul edildiği için değişken durum koşullarında sistem korumasız kalabilmektedir [8]. Aktif filtreler ise dinamik sistem koşullarına uygun çözüm uygulayarak sistemde iyileştirme sağlamaktadır. Aktif filtre lineer olmayan yüklerin oluşturduğu olumsuz durumu ortadan kaldırmak için uygun bir çözüm olarak kullanılmaktadır [9]. Sistemde bulunan harmonik yükler belirlenenler ve belirlenemeyenler olmak üzere iki kategoride incelenmektedir [10]. Aktif filtreleme sistemi ise seri aktif filtre, paralel aktif filtre ve hibrit yapıda aktif filtre olmak üzere çeşitlendirilmektedir. Aktif filtre güç elektroniği devre elemanlarından oluşmaktadır. Aktif filtrenin avantajı dinamik koşullara göre yeniden tasarım yapılmasının gerekmemesidir. Aktif filtre DC

[4]. Reaktif güç ve harmonikler sistem üzerinde olumsuz kapasitör ile DC link gerilim regülasyonu gerçekleştirilmektedir [11]. Raylı sistemler işletmesel olarak birçok parametreye bağlı olduğu için dinamik koşullara sahiptir. Bu özelliğinden dolayı aktif filtreleme yöntemleri raylı sistemler için daha uygun olmaktadır. Aktif ve pasif filtrelerin bazı sisteme bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır. İki tip filtre de sistemde güç artışına neden olmaktadır. Pasif filtreler güç frekansında reaktif güç üretirken aktif filtreler şebekeden çekilen gücün artmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı bir sistem için tercih edilirken bu durum da gözönünde bulundurulmalıdır. Aktif güç filtreleri sistemde bulunan harmonikleri ortadan kaldırmasının yanında reaktif güç kompanzasyonu, gerilim ve akım dengesizlikleri problemleri, nötr akımının kompanzasyonu ve şebeke geriliminin düzenlenmesi için de kullanılırlar [12]. Paralel aktif filtre endüstride en çok kullanılan aktif filtre çeşididir [13]. Aktif güç filtreleri; tek fazlı, üç fazlı üç telli ve üç fazlı dört telli tasarımlardan oluşmaktadır. Tasarım tipi ise besleme sistemindeki doğrusal olmayan yüke bağlı olarak, kompanze edilmesi planlanan büyüklüğe göre seçilmektedir [14]. Önceki çalışmalar ışığında güncel teknoloji ile cevap hızları oldukça yüksek aktif güç filtreleri tasarlanabilmektedir [15]. Gerilim sinyalinin kalitesi için gerilim THD değeri hesaplanarak ilgili değerler IEEE-519-1992 standardında belirtilen limitlerin içerisinde kalması hedeflenmektedir. Bu limitlerin dışında kalınması durumunda ise güç kalitesi problemleri ortaya çıkmaktadır.

(1) eşitliği ile gerilim harmoniği hesaplanmakta olup V_2 , V_3 ve V_n değerleri ilgili frekanstaki harmonik gerilimlerini ifade etmektedir. Bu eşitliğin çözülmesi ile harmonik gerilimlerinin efektif değeri hesaplanmaktadır.

$$V_h = \sqrt{(V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2)} \quad (1)$$

Gerilimin THD değeri hesaplanırken harmonik gerilimlerin efektif değeri temel frekans bileşeninin efektif değerine bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Bu denklem (2) eşitliği belirtilmektedir. V_h gerilim harmoniğini ifade ederken V_1 temel bileşeni belirtmektedir. Bu ifade ile THD değerinin yüzde değeri hesaplanmaktadır.

$$THD_V = (V_h/V_1) \times 100 \quad (2)$$

Bu çalışmada 1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemlerde Gerilim Harmoniği Probleminin AGT (Anlık Güç Teorisi) Tabanlı Paralel Aktif Güç Filtresi ile Çözümü yapılmıştır. Modelleme için Matlab/Simulink programı kullanılmıştır. Aktif güç filtresi trafonun sekonder bölümüne paralel olarak bağlanarak filtreleme gerçekleştirilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada paralel aktif güç filtresi ile 1500 V DC

beslemeli bir hattın trafo merkezinde gerilim harmonik probleminin çözümü araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Akagi'nin AGT yöntemi tercih edilmiştir. AGT yöntemiyle tetikleme sinyalleri oluşturularak referans akımlar hesaplanmaktadır. Modelleme için Matlab/Simulink ortamında benzetim yapılmıştır. Aktif filtre için anlık akım, anlık gerilim, anlık güç hesaplamaları yapılarak tasarım oluşturulmuştur.

2.1. AGT Yöntemi

1983 yılında Akagi tarafından bulunan bu teori ile anlık reaktif güç cebirsel olarak hesaplanarak zamanda oluşabilecek bir gecikmenin önüne geçilmektedir. Bu teori ideal olan ve ideal olmayan akımlarda ve gerilimlerde sürekli ve geçici hal durumlarında geçerli olmaktadır. Clarke dönüşümü olarak bilinen α - β dönüşümü 3-fazlı akım ve gerilimleri iki fazlı durağan yapıya çeviren cebirsel bir dönüşümdür [16]. 2-fazlı α - β durağan referans yapıya çevirdikten sonra anlık güç teorisi kullanılarak yükün gerçek ve sanal güçleri hesaplanmaktadır [16]. Gerilim harmoniğini ortadan kaldırmak için aktif gücün dalgalı bileşeni ve reaktif güç hesaplanmaktadır [16]. Aktif güç filtresi şebekeye gelen harmonikli gerilimi sinüsoidal dalga şekline dönüştürmek için sisteme enjekte etmesi gereken gerilimi referans gerilimlerle bulmaktadır [16]. Aktif filtrenin ürettiği referans gerilimler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir. Anlık güç teorisine göre α - β düzleminde hesaplanan referans gerilimler daha sonra ters clark dönüşümü ile 3 fazlı sistemdeki gerilimlere dönüştürülür. Aktif filtre tasarlanırken bu teoriden yararlanılmıştır. Clarke dönüşümü ise 3-fazlı akım ve gerilimleri iki fazlı durağan yapıya çevirmektedir [16].

Anlık güç eşitliği (3) ile verilmektedir [16].

$$P_a(t) = VI \cos \varphi (1 - \cos 2\omega t) - VI \sin \varphi \sin 2\omega t \quad (3)$$

Lineer olmayan yüklere ait reaktif ve harmonik güç hesaplamaları (4) ve (5) eşitliği ile verilmektedir [16].

$$Q = 3V I \sin \varphi \quad (4)$$

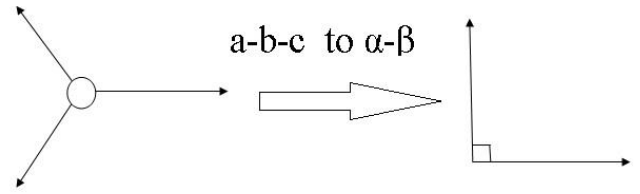
$$D = 3V (I_2^2 + I_3^2 + \dots)^{1/2} \quad (5)$$

(6) ve (7) denklemleri ile üç fazlı gerilim ve akım değerlerinin iki fazlı yapıya dönüşümü verilmektedir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ya} \\ I_{yb} \\ I_{yc} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Şekil 2 ile üç fazlı sistemden iki fazlı yapıya dönüşüm gösterilmektedir.



Şekil 2. a-b-c to α - β conversion

(8) ve (9) eşitlikleri ile anlık aktif güç ve anlık reaktif güç hesaplanmaktadır.

$$P_3 = V_a I_a + V_\beta I_\beta \quad (8)$$

$$Q_3 = V_\beta I_a - V_a I_\beta \quad (9)$$

Anlık aktif güç ve reaktif güç eşitliği matris şeklinde yazılırsa (10) ve (11) eşitlikleri elde edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} P_3 \\ Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a & V_\beta \\ -V_\beta & V_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a & V_\beta \\ -V_\beta & V_a \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P_3 \\ Q_3 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Referans gerilimler (12) ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} V_{ca}^* \\ V_{cb}^* \\ V_{cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ca}^* \\ V_{cb}^* \end{bmatrix} \quad (12)$$

Bu ifadeyle gerilim değerlerinin cebirsel işlemle α - β düzleminde üç fazlı V_{ca}^* , V_{cb}^* , V_{cc}^* referans gerilimlere dönüşümü gerçekleştirilerek aktif güç filtresinin ihtiyacı olan tetikleme sinyalleri üretilmektedir [16].

2.1.1. Sistemin Akış Şeması

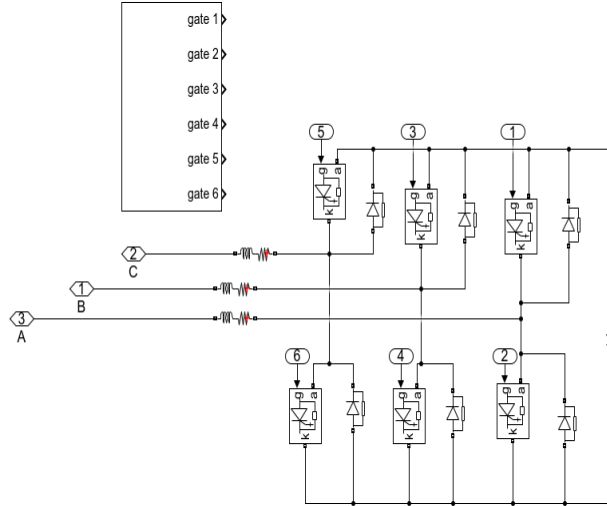
Clarke dönüşümü ile anlık güçlerin hesaplanmasının ardından eşdeğer referans akımlar ortaya çıkmaktadır. Referans akımlar elde edildikten sonra güç elektroniği devre elemanlarının anahtarlama sinyalleri üretilmektedir. Anlık güçler α - β düzleminde akım ve gerilime bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Bu adımların ardından harmonik filtreleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Sistem tarafından üretilen harmoniklere eşit genlikte ve ters fazda harmonik akımlar üretilerek filtreleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu adımlar sistemle eşgüdümlü bir şekilde gerçekleşmekte olup zamanda herhangi bir gecikme yaşanmamaktadır.

2.2. Paralel Aktif Güç Filtre Devresi

Paralel aktif güç filtre sistemine ait devre modeli şekil 3 ile gösterilmektedir. Aktif filtre güç elektroniği

devresi, devre elemanları, ve tetikleme sinyalleri için kontrol bloklarından oluşmaktadır. Aktif güç ünitesinin uçlarına ideal güç aktarımı için RL filtre yerleştirilmiştir. Kontrol blokları vasıtasıyla sistem tarafından üretilen harmonik hesaplanarak eliminasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Referans gerilimler hesaplandıktan sonra aktif filtre tarafından üretilen tetikleme sinyalleri devrede bulunan GTO'ların tetikleme sinyallerini oluşturmaktadır. Harmoniğin etkin bir şekilde kompanse edilmesi için ayrıca devreye paralel kapasitans bağlanmaktadır.

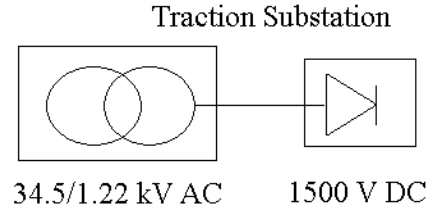


Şekil 3. Aktif filtre devresi

Aktif filtre güç elektroniği devresi GTO'lardan oluşmaktadır. Güç elektroniği alanında yakalanan teknoloji ile transformatör kullanımı azaltılarak kayıplar önemli miktarda önlenmektedir [17]. Devre elemanları seçilirken anahtarlama frekansları ve ısınma faktörleri hesaba katılmaktadır. Aktif filtrenin üretim kapasitesi seçildiği güç aralığı ile direk bağlantılı olup uygun filtre sistemin optimal güç ihtiyacına göre seçilmektedir. Kontrol blokları yardımıyla her bir kapağına ait tetikleme sinyalleri oluşturulmaktadır.

2.3. 1500 V DC Beslemeli Trafo Merkezi

1500 V DC beslemeli trafo merkezi cer transformatörü ve doğrultucu sisteminden oluşmaktadır. 34.5 kV enerji seviyesinden 1.5 kV DC enerji seviyesine dönüşüm bu merkezde gerçekleştirilmektedir. Şekil 4 ile cer merkezine ait gösterim verilmektedir. Bu dönüşüm her cer merkezinde gerçekleşmektedir. Bir hatta bulunması gereken cer merkezi sayısı hat verileri ve işletmesel özellikler sisteme tanıtılarak cer simülasyonu ile bulunmaktadır.

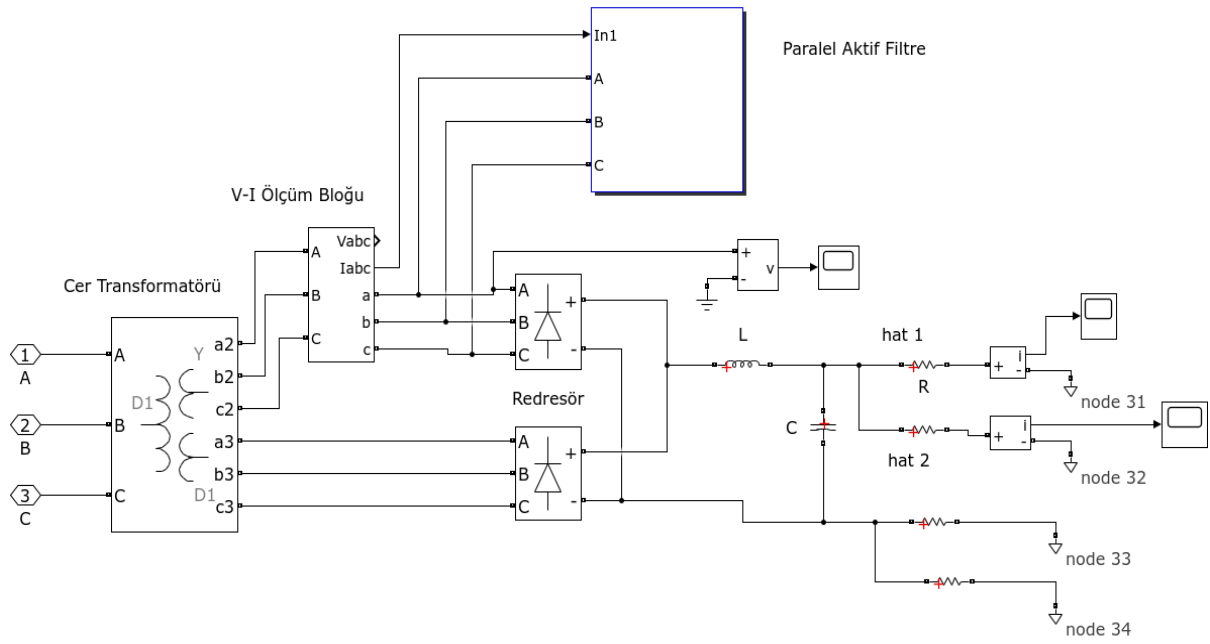


Şekil 4. DC Trafo Merkezi

1500 V DC beslemeli hatlarda cer merkezi sayısı hesaplanırken EN 50163 ve EN 50122 standartlarına uygun olması hedeflenmektedir. Cer merkezi tarafından beslenen araca ait cer sistemi transformatör, üç fazlı PWM inverter ve asenkron motordan oluşmaktadır [18]. Demiryollarında sistem performansını etkileyen çeşitli işletme parametreleri mevcuttur [19]. Belirtilen standartlar minimum besleme gerilimi ile maksimum ray gerilimi limitlerini belirtmektedir. Hatta meydana gelen gerilim düşümü kontrol edilmediği zaman araç veriminin düşmesi ve işletmenin durdurulması gibi olumsuz olaylar ortaya çıkabilmektedir [20]. DC Beslemeli hatlarda işletme sürekliliği için gerilim kararlılığı çok kritiktir [21]. Demiryollarında yüksek güçlü ekipmanlar kullanıldığı için enerji tüketimi yüksek rakamlara ulaşmaktadır [22]. Elektrik güç sistemleri artan güç talebini karşılamak için sınırlarını zorlamaktadır [23]. İşletme trafiği için saptanan sefer sıklığının sağlanabilmesi için elektrifikasyon sisteminin gerekli donanıma ve tasarıma sahip olması gerekmektedir [24]. Bu çalışmada paralel aktif filtre cer merkezinde kullanılarak DC sistem tarafından üretilen harmoniklerin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

2.4. Paralel Aktif filtrenin Devreye Bağlantı Modeli

Paralel aktif filtre sisteme cer merkezinde cer trafosunun sekunder tarafından bağlanarak sisteme akım enjekte edilmektedir. Bu çalışmada üç fazlı paralel aktif güç filtresi kullanılmıştır. DC devre tarafından üretilen harmoniklerin AC gerilim bölümünde eliminasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistem bağlantısıyla ilgili devrenin bağlantı şeması şekil 5 ile gösterilmektedir. Cer transformatörünün sekonder girişine bağlanan paralel aktif filtre devresi sisteme V-I ölçüm bloğu üzerinden bağlanmıştır. Nonlinear yük tarafından üretilen harmonik kadar akım sisteme bu bölümde enjekte edilerek harmonik eliminasyonu gerçekleştirilmektedir. Ölçüm bloğundan sonra DC iletim hattı için gerekli DC gerilimin üretildiği redresör sistemi, LC filtre şeklinde görülmektedir. Hat 1 ve hat 2 iletim hatlarına bağlantılar ise R dirençleri ile gösterilmiştir.

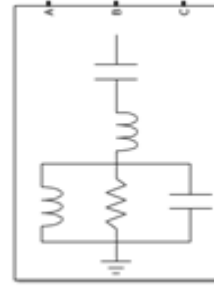


Şekil 5. Paralel Aktif Filtre Bağlantısı

Bağlantının sekonder kısma yapılmasıyla sistem performansının yüksek olması hedeflenmiştir. Bu şekilde harmoniklere etkili bir şekilde müdahale edilmektedir. Sisteme ait ölçümler için gerilim bloğu yerleştirilerek değerler kaydedilmiştir. Filtreli ve filtresiz durumlara ait kayıtlar ayrı ayrı alınarak sistem analiz edilmiştir. Paralel filtreye üç faza ait anlık akım bilgileri üç fazlı akım-gerilim ölçüm bloğu ile sağlanmaktadır.

2.5. Klasik Filtreleme Yöntemi

Pasif filtreler Belirli harmonik frekanslarında ayarlanan filtrelerdir. Direnç, endüktans ve kapasitans gibi pasif devre elemanlarından oluşmaktadır. Belirlenen frekansta rezonans meydana getirilerek filtreleme gerçekleştirilmektedir. Bu filtreler sisteme paralel veya seri şekilde bağlanabilmektedir. Bu çalışmada paralel bağlantı kullanılmıştır. Pasif filtrede kalite faktörü filtrenin ayar karakteristiğini belirlemek için kullanılan bir parametredir. Bu filtreleme işleminde filtre tasarımı için öncelikle devrenin harmonik analizi yapılarak durum tespiti yapılmalıdır. Bu çalışmada çift ayarlı pasif filtre kullanılmış olup devre şeması şekil 6 ile verilmektedir. Çift sönümlü pasif filtre seri LC elemanları ile paralel RLC elemanlarının seri bağlantısından oluşmaktadır. Bu tip filtreleme işleminde tasarım için ilgili filtreleme frekansları, kalite faktörü ve reaktif güç gibi parametreler kullanılmaktadır. Filtreleme için ayrıca devrenin toplam empedansı ve rezonans frekansları dikkate alınmaktadır.



Şekil 6. Çift Sönümlü Pasif Filtre [MATLAB]

Durum tespitinin ardından saptanan frekanslar için harmonik filtreleme yapılmaktadır. Klasik filtrelemede durum statik kabul edildiği için dinamik koşullarda sistem harmoniklere maruz kalabilmektedir. Bu metot yük değişiminin sık rastlanmadığı durumlar için tercih edilmektedir.

2.6. Harmonik Limitleri

Harmonik limitleri ile ilgili olarak akım ve gerilim harmonikleri için IEC Std. 1000-3-4, EN 50006 ve IEEE-519-1992 standartları kullanılmaktadır. Bu standartlarda belirtilen THD değeri ile dalga şeklinde oluşan bozulma belirtilmektedir. Bundan ötürü THD değeri için belirlenen limitler dalgada gerçekleşebilecek bozulma miktarını sınırlandırmaktadır. Tablo 1 ile IEEE 519-1992 standardında belirtilen harmonik limitleri verilmektedir.

Tablo 1. IEEE 519-1992 gerilim harmoniğininine ait limitler

Bara Gerilimi	Maksimum Bireysel Harmonik Bileşen (%)	Maksimum THD (%)
<69 kV	3.0	5.0
69-161 kv	1.5	2.5
≥161 kv	1.0	1.5

1500 V DC beslemeli cer merkezinde uygulanan gerilim 1.22 kV olduğu için tabloda bulunan 1.satıra ait bölüm uyulması gereken sınırı belirtmektedir. Bu sistem için uyulması gereken THD değeri % 5 olarak açıklanmaktadır. Bu çalışma kapsamında gerilim harmoniği için filtreleme işlemi gerçekleştirilirken bu değer altına inilmesi hedeflenerek başarı elde edilmiştir.

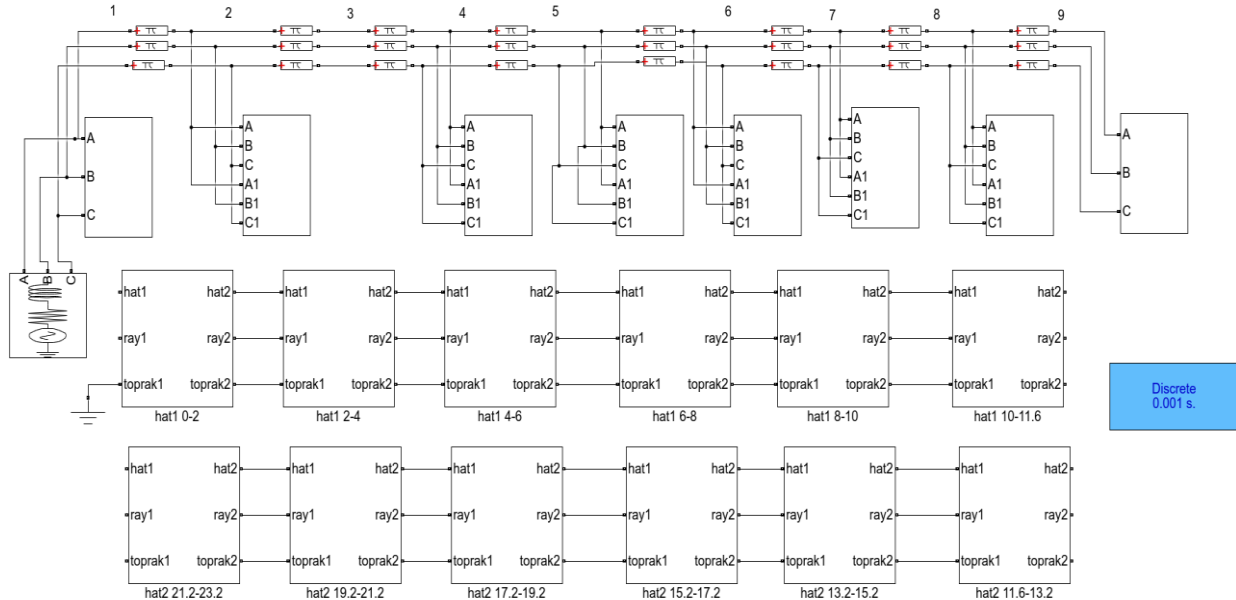
III. BULGULAR

Bu çalışma ile 1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemlerde Gerilim Harmoniği Probleminin Paralel Aktif Güç Fitesi ve klasik yöntemlerle Çözümü yapılmıştır Benzetim için Matlab/Simulink programı kullanılmıştır. Tablo 2’de aktif filtre parametrelerine ait detaylı bilgi verilmektedir. Benzetim için 12 km uzunlukta 9 istasyonlu 8 trafo merkezli bir raylı sistem hattı kullanılmıştır. Gidiş dönüş olmak çift tünel yapısına sahip bir raylı sistem hattı tercih edilmiştir.

Tablo 2. Aktif Filtre Parametreleri

Aktif Filtre Parametreleri	Değer
Kaynak Gerilimi (V)	1220 Vrms
Kaynak Frekans (F)	50 Hz
Kaynak Empedansı (R,L)	0.005 Ω , 2.9 e-5 H
Yük Empedansı	0.5 Ω - 6 Ω Aralığında Değişken
Aktif Filtre Histerizis Bant Aralığı	0.1 V
Aktif Filtre Empedansı	2e-4 H
Aktif Filtre Kondansatörü	1e-6 F
Güç Elektronik Devresi	PWM IGBT Invertor
Bağlantı Şekli	Devreye Paralel Bağlantı

Şekil 7 ile raylı sistem hattına ait benzetim ekranı verilmektedir. Aktif ve pasif filtreleme kaynak gerilimine an yakın nokta olan birinci trafo merkezinde yapılmıştır. Filtre bağlantısı için cer transformatörünün sekonder bağlantı noktası optimal nokta olarak belirlenmiştir. 1 den 9’a kadar atanan sayılar istasyon bölgelerini temsil etmektedir. 34.5 kV Teias girişi 1 numaralı istasyon bölgesindeki cer merkezi üzerinden sisteme bağlanmıştır. DC cer merkezlerine gelen AC gerilim 34.5 kV orta gerilim hattı üzerinden istasyonlara dağılmaktadır. Sistemde 8 adet cer merkezi bulunmakta olup tren hareketlerinin benzetimi oluşturulan hat blokları ile gerçekleştirilmektedir.

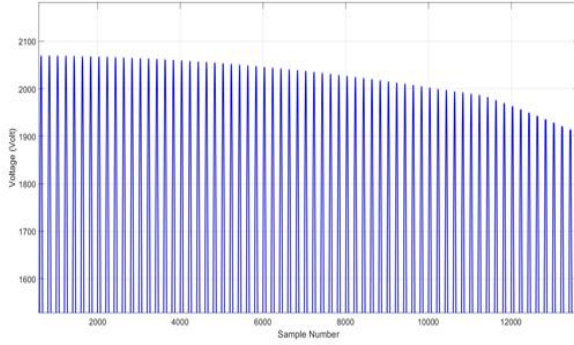
**Şekil 7.** Benzetim Ekranı

Bu şekilde sistem tarafından üretilen harmoniklerin şebekeye ulaşmadan ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Benzetim aktif filtreleme, pasif filtreleme ve fitesiz olmak üzere 3 ayrı durum için

çalıştırılarak sistem test edilmiştir. Sistem çalışırken sonuçlar gerilim ölçüm noktasında kayıt edilmiştir.

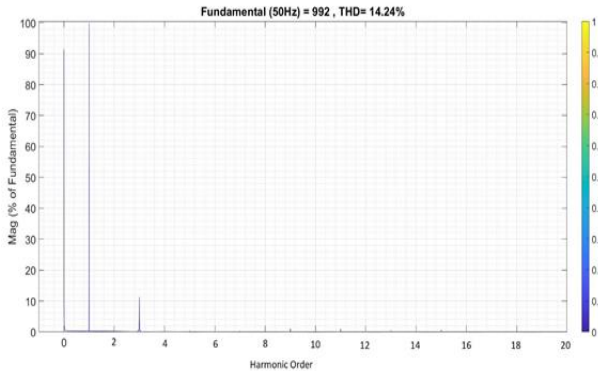
3.1. Filtresiz Durumda Gerilim THD Değerinin Hesaplanması

Sistemde filtreleme yapılmadığı durum için sistem çalıştırılarak sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Bu durumda oluşan gerilimin dalga işareti şekil 8 ile gösterilmektedir. Görüldüğü üzere gerilimin değişimi 1900-2100 V aralığında gerçekleşmektedir. Bu durumda cer transformatörünün sekonder geriliminde önemli oranda bir bozulma yaşanmıştır.



Şekil 8. Filtresiz Durumda Gerilim Sinyali

Bu duruma ait FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) analiz sonuçları aşağıda verilmektedir. Bu duruma ait sonuçlar şekil 9 ile verilmektedir.

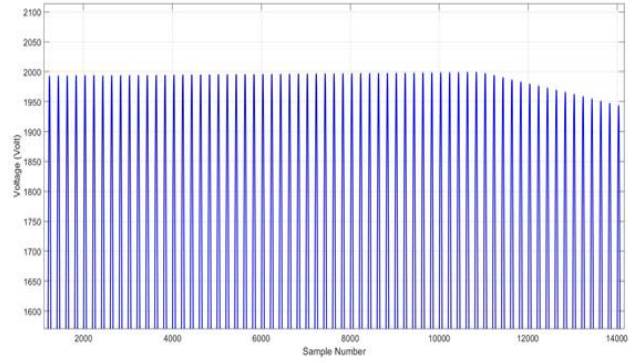


Şekil 9. Filtresiz Duruma ait FFT Analiz Sonuçları

Bu durumda gerilim harmoniği THD değeri % 14.24 olmaktadır. Harmonik analizinde frekanslara bağlı olarak oluşan harmonikler saptanmıştır. Maksimum frekans 1000 Hz olarak seçilmiştir.

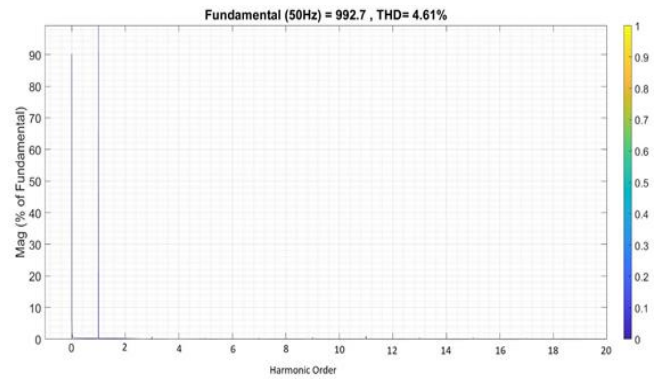
3.2. Pasif Filtreli Durumda Gerilim THD Değerinin Hesaplanması

Pasif filtre sisteme paralel bağlandığı durumda sistem test edilmiştir. Bu durumda gerilime ait sinyal şekil 10 ile verilmektedir. Bu durumda gerilim değeri 1950-2000 V aralığında değişmektedir. Pasif filtreli durumda gerilim işareti incelendiğinde çıkış geriliminde önemli miktarda iyileşme gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 10. Pasif Filtreli Durumda Gerilim Sinyali

Bu duruma ait FFT analiz sonuçları frekanslara bağlı olarak aşağıda gibi olmaktadır. Sonuçlar şekil 11 ile gösterilmektedir.

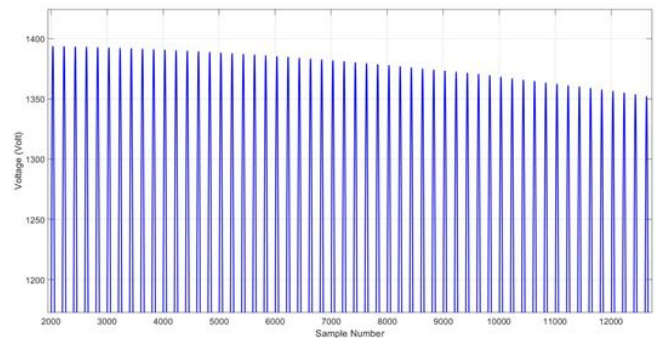


Şekil 11. Pasif Filtreli Duruma ait FFT Analiz Sonuçları

Bu durumda gerilim harmoniği THD değeri % 4.61 olmaktadır. Pasif filtre çözümünde önemli miktarda iyileşme sağlanmıştır.

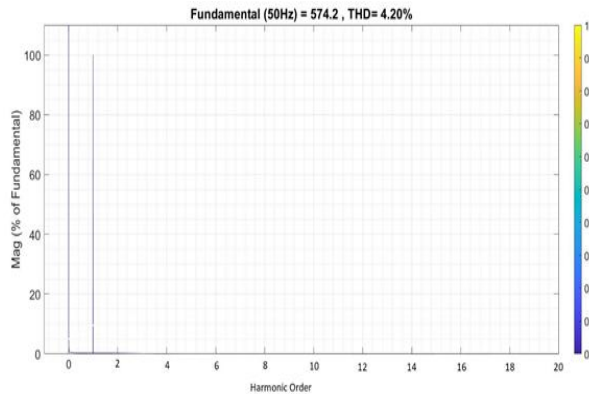
3.3. Aktif Filtreli Durumda Gerilim THD Değerinin Hesaplanması

Aktif filtre devreye paralel olarak bağlanarak sistem çalıştırılmıştır. Bu durumda oluşan gerilime ait dalga biçimi şekil 12 ile verilmektedir. Bu durum şartlarında gerilim değeri 1350-1400 V aralığında değişmektedir. Aktif filtreli durumda çıkış geriliminde başarılı iyileştirmenin pasif filtreye göre daha etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Aktif Filtreli Durumda Gerilim Sinyali
FFT analiz bu durum için de yapıldığında elde edilen

sonuçlar frekanslara bağlı olarak aşağıda gibi olmaktadır. Şekil 13 ile elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 13. Aktif Filtreli Duruma ait FFT Analiz Sonuçları

Bu durumda gerilim harmoniği THD değeri % 4.20 olmaktadır. Aktif filtre uygulamasıyla önemli oranda iyileşme gerçekleştirilmiştir.

3.4. Sonuçlara Ait Karşılaştırmalı Durum

Çalışma sonunda elde edilen sonuçlara ait özet durum tablo 3 ile verilmektedir. İlgili çalışma şekline bağlı olarak aktif filtreli, pasif filtresiz ve sistemde filtreleme yapılmadığı koşullara ait özet durum burada verilmektedir.

Tablo 3. Aktif filtre, pasif filtre ve filtresiz koşullara ait özet durum

Devrenin Çalışma Durumu	THD değeri (%)	İyileştirme Oranı (%)	IEEE Standardına ait Kriterlere Uyum
Filtresiz Durum	14.24	-	Limitlerin Dışında
Pasif Filtreli Durum	4.61	67	Limitlerin İçinde
Aktif Filtreli Durum	4.20	70	Limitlerin İçinde

Tabloda belirtildiği gibi filtre kullanılmadığında gerilim harmoniğine ait % THD değeri limitlerin dışında kalmaktadır. Pasif filtre aktif filtre kullanıldığında ise gerilim harmoniği IEEE standardının izin verdiği limitlerin içinde değer almaktadır.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada 1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemler için gerilim harmoniği probleminin AGT Tabanlı Paralel Aktif Güç Fitesi ile Çözümü yapılmıştır. AGT ile zamanda oluşabilecek gecikmelerin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Aktif filtre ile klasik filtreleme yöntemleri karşılaştırılarak sonuçlar elde edilmiştir. Her duruma ait FFT analizi yapılarak gerilim grafiği örnekleme sayısına bağlı olarak verilmiştir.

Çalışma için 12 km uzunluğuna sahip 9 istasyonlu 8 cer merkezli bir raylı sistem hattına uygulama yapılmıştır. Aktif filtre ve pasif filtre devreleri sisteme paralel olarak bağlanırken bağlantı noktası olarak cer transformatörünün sekonder bağlantı bölümü seçilmiştir. Hattın orta gerilim besleme merkezine en yakın hatta uygulama yapılarak sistem çalıştırılmıştır. Sistem filtresiz durumda, pasif filtreli durumda ve aktif filtreli durumda olmak üzere ayrı ayrı çalıştırılarak sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Sistemde sağlanan iyileştirme durumları anlatılarak IEEE'nin gerilim harmoniği ile ilgili standardıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Filtresiz durumda gerilim harmoniği % 14.24 THD değeri alırken pasif filtre bağlandığında bu değer % 4.61 mertebelerine inmektedir. Aktif filtre bağlandığında ise bu değer % 4.2 seviyesine kadar düşmektedir. Her iki filtreleme durumunda da IEEE'nin gerilim harmoniğiyle ilgili belirlediği limitlerin altına inilirken aktif filtreleme durumunda pasif filtreleme durumuna göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. İki filtreleme yönteminde de önemli miktarda iyileşme sağlanmıştır. Bu çalışma ile DC beslemeli raylı sistemlerde gerilim düzensizliği probleminin çözümü için pasif filtrenin yanında yeni güç elektroniği teknolojilerini kapsayan bir uygulama olarak aktif filtre seçeneğinin daha iyi performans sonuçları sağladığı gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Annapoorani, I., Samikannu, R., Senthilnathan, K., (2017). Series Active Power Filter for Power Quality Improvement Based on Distributed Generation. International Journal of Applied Engineering Research, 12, 12214-12218.
- [2] Teixeira, N., F., Pinto, J., G., O., Freitas, M., J., S., Afonso, J., L., (2015). New Control Algorithm for Single-Phase Series Active Power Filter", Electric Power Components and Systems Journal, Taylor & Francis Group, LLC, 43, 1752-1760.
- [3] Bagde, A., P., Ambatkar, R., B., Bhure, R., G., Rakhonde, B., S., (2017). Power Quality Improvement By Series Active Power Filter- A Review. International Research Journal of Engineering and Technology, 4, 1730-1733.
- [4] Kahraman, Ö., A., Sevim, D., Erkan, E., Çelebi, S., B., Cebeci, M., (2018). Reference Signal Estimation Methods for Parallel Active Power Filter Control. International Engineering and Technology Symposium, May, 1-7.
- [5] Uçar, F., Coteli, R., Dandil, B., (2012). Three Level Inverter Based Shunt Active Power Filter Using Multi-Level Hysteresis Band Current Controller. Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 88, 227-231.
- [6] Iswariya, T., Vennila, V., (2015). Design and Implementation of a Statcom for Railway Applications. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, 10, 137-142.
- [7] Salem, M., Hamouda, M., Slama, J., B., H., (2017). Comparative Study of Conventional Modulation

Schemes in Terms of Conducted And Radiated EMI Generated by Three-Phase Inverters. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 25, 1599-1611.

[8] Akagi, H., (2005). Active harmonic filters,, Proc. IEEE, 12, 2128-2141.

[9] Hekimoğlu, B., Ekinci, S. , (2016). Paralel Aktif Güç Filtresi Denetimi İçin Adaline YSA Tabanlı Farklı Referans Akım Çıkartım Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Journal of Life Sciences, 6, 219-237.

[10] Akagi, H., Watanebe, E. H., Aredes, M., (2007). Instantaneous power theory and applications to power conditioning, New Jersey, USA, Wiley-IEEE Press.

[11] Fujita, H., Akagi, H., (1998). The unified power quality conditioner: The integration of series- and shunt-active filters. IEEE Trans. Ind. Electron, 2, 315-322.

[12] Rüstemli, S. , Cengiz, M. , Dinçer, F., (2013). Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Aktif Filtre Kullanılarak Yok Edilmesi ve Simülasyonu. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2, 1, 30-38.

[13] Tuna, M, , Ergün, A., A. , Kocabey, S., (2018). Mathematical modelling of PAF with voltage supply for non-linear loads By GSSA method. SAUJS, 22, 4, 1071-1079.

[14] Özçira, S., (2018). Aktif Güç Filtrelerinin Temel Seçim Esaslarının Kompanze Edilmesi Gereken Büyüklüğe Göre Belirlenmesi. GUJS Part C., 6, 3, 691-704.

[15] Gedikpınar, M. , GÜNGÖR, (2017). M. Bir-Fazlı İndüksiyon Motorlar İçin Paralel Aktif Güç Filtresi Tabanlı Reaktif Güç Kompanzasyonu". Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29, 2, 185-193 .

[16] Akçay M , Arifoğlu U., (2019). Anlık Güç Kuramı ile Dengesiz Yükler İçin SAGF Uygulaması. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 16-1.

[17] Anish, P.,S., Ramarajan, T., Srinivas, T., A., Sasikumar, M., (2012). Voltage Balancing in SVM

Controlled Diode Clamped Multilevel Inverter for Adjustable drives. International Journal of Soft Computing and Engineering, 1, 2231-2307.

[18] Kocaarslan, İ., Akçay, M., T., Akgündoğdu, A., Tiryaki, H., (2017). The comparison of the ANN and ANFIS methods for the prediction of voltage drop on an electric railway line. Journal of Electrical & Electronics Engineering (IUJEEE), 18, 26-35.

[19] Akçay, M., T., Kocaarslan, İ., (2019). Determination Of Distance Between DC Traction Power Centers İn A 1500 V DC Subway Line With Artificial İntelligence Methods, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 27, 289-303.

[20] Kocaarslan, İ., Akçay, M., T., Akgündoğdu, A., Tiryaki, H., (2017). The comparison of the ANN and SVM Methods for the Prediction of Voltage Drop on a Subway Line, International Journal of Engineering Research and Advanced Development (IJERAD), 10, 57-65 .

[21] Akçay, M., T., Kocaarslan, İ., (2019). Solving Power Quality Problem of 750 V DC Railway Substation With DSTATCOM Using SVPWM, (IJERAD), 11,2, 620-626.

[22] Kocaarslan, İ., Akçay, M., T., Ulusoy, S., E., Bal, E., Tiryaki, H., (2017). Creation of a dynamic model of the electrification and traction power system of a 25 kV AC feed railway line together with the analysis of different operation scenarios using Matlab/Simulink, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 25, 4254-4267.

[23] Jadeja, R., Patel, S., Chauhan, S., K., (2016). STATCOM – A Preface to Power Quality in Power Systems Performance. Engineering, Technology & Applied Science Research, 1, 895-905.

[24] Akçay, M., T., Kocaarslan, İ., (2019). Simulation of Multi-Vehicle Signaling System with Matlab / Simulink and Design of Train Timetable, Journal of Science and Engineering, 2019, 6, 799-807.

İkinci El Kitap Ticareti için Elektronik Pazar Modeli, Yapıcı Sezgisel Yöntemler ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu

An Electronic Market Model, Constructive Heuristics and Ant Colony Optimization for Used-Book Trading

Ali Haydar ÖZER¹ 

¹Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, yeni veya ikinci el kitap ticaretinin yapıldığı ikincil kitap pazarları için bir elektronik pazar modeli önerilmektedir. Bu modelde katılımcılar kitap alışı ve satışı isteklerini eşzamanlı olarak elektronik pazar sistemine iletebilirler. Satışa çıkarılan her kitap tekil bir ürün olarak kabul edilir ve fiyatı satıcısı tarafından belirlenir. Önerilen model katılımcıların sisteme ilettikleri istekleri için bütçe sınırı koymalarına da izin verir. Böylece her bir katılımcı için katılımcının satın aldığı kitapların maliyeti ile sattığı kitaplardan elde ettiği gelir arasındaki fark bildirilen bütçe sınırı dahilinde kalır. Bu model ayrıca katılımcıların kendi tercihleri doğrultusunda birbirini ikame edebilir olarak gördükleri kitapları bir liste halinde belirtebilmelerini ve bu listeden en fazla bir adet kitap almalarını sağlayacak bir mekanizmaya da sahiptir. İlave olarak kullanıcılar dilerlerse istedikleri kitapları kişisel tercihlerine göre önceliklendirebilirler. Bu çalışmada, elektronik pazar modelinin matematiksel tanımı yapılmış ve ilgili kazanan belirleme problemi doğrusal tam sayı programı olarak formüle edilmiştir. Bu problem NP-Zor sınıfına ait olduğu için iki tane tek çözüm üzerinde çalışan yapıcı ve bir tane de popülasyon tabanlı Karınca Kolonisi Optimizasyonu yöntemi olmak üzere üç farklı sezgisel yöntem önerilmiş ve bu yöntemlerin performansları kapsamlı bir test paketi üzerinde ölçülmüştür. Sonuçlar, önerilen modelin yüksek sayıda katılımcıyı barındıran büyük ölçekli elektronik pazarlarda verimli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektronik Pazar, Pazar Tasarımı, İkinci El Eşya Ticareti, Tam Sayı Programlama, Sezgisel Yöntemler, Karınca Kolonisi Optimizasyonu.

Abstract

In this study, an electronic market model is proposed for the secondary book markets where used and new books are traded. In this model, participants can submit their book purchase and sales requests to the electronic market simultaneously. Each book that is put on sale is considered as a unique product and its price is determined by the seller. The proposed model also allows participants to set a budget limit for their requests. Thus, for each participant, the difference between the cost of the books purchased by the participant and the revenue obtained from the books sold is within the declared budget limit. This model also has a mechanism that allows participants to specify a list of books that they consider to be substitutable so that they can purchase at most one book from this list. In addition, users can prioritize books according to their personal preferences. In this study, mathematical definition of the model is given, and the related winning determination problem is formulated as linear integer program. Since this problem is NP-Hard, two constructive heuristics and a population-based Ant Colony Optimization heuristic are proposed, and their performances are evaluated on a comprehensive test package. The results show that the proposed model can be used efficiently in large-scale electronic markets with large number of participants.

Keywords: Electronic Market, Market Design, Used Good Trading, Integer Programming, Heuristic Methods, Ant Colony Optimization.

I. GİRİŞ

Bilgi teknolojisindeki son gelişmeler, katılımcıların belirli bir yerde, belirli bir zamanda buluşmasını gerektiren geleneksel fiziksel pazarlardan, bu sınırlamaların ortadan kalktığı elektronik pazarlara geçişe imkân sağlamıştır. Elektronik pazarlar, zaman ve mekân kısıtlamalarını zayıflatarak birden fazla alıcı ve satıcıyı bir araya getiren bir platform sağlar [1]. Bu nedenle, bir elektronik pazar, fiziksel bir pazardan daha fazla katılımcı çekme potansiyeline sahiptir. Örneğin, dünyanın en büyük çevrimiçi pazarı olan eBay, dünya çapında 180 milyondan fazla müşteriye sahiptir [2] ve yine dünyanın en büyük Firmadan-Firmaya (B2B) pazarı olan Alibaba.com'da 670 milyondan fazla aktif katılımcı bulunmaktadır [3]. Bir pazarda katılımcı sayısının artması, tedarikçiler arasında daha yüksek rekabet

seviyesi oluşturarak tedarikçi yenilikçiliğinin artmasına neden olmaktadır [4]. Ayrıca elektronik pazarlar satıcıların ürün teklifleri hakkında bilgi edinmek için alıcıların arama maliyetlerini de düşürebilir [5, 6]. Bu da pazarın kaynak tahsis verimliliğini artırır [7].

Bu çalışma gerek yeni gerekse de kullanılmış kitap ticaretinin yapıldığı ikincil kitap pazarlarına yöneliktir. İkincil kitap pazarları, milyarlarca dolarlık işlem hacmi ile küresel ekonomik aktivitede önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, ABD'de, kullanılmış kitap pazarının işlem hacmi 2004 yılında yaklaşık 2,2 milyar dolar olarak saptanmıştır ve çevrimiçi kitap satıcıları, genel olarak ikinci el kitap satışlarının üçte ikisinden sorumludur [8]. Ayrıca, fiziksel pazarlara kıyasla, alan gereksinimini azalttığından ötürü elektronik kitap pazarları daha yüksek oranda kitap çeşitliliği sağlamaktadır. Örneğin, Brynjolfsson ve arkadaşlarının çalışmasında [9], amazon.com ve barnesandnoble.com çevrimiçi sitelerinde 2,3 milyon kitap listelenirken, tipik bir fiziksel kitabevinde yalnızca 40.000 ila 100.000 kitap bulunduğu ifade edilmiştir. Benzer şekilde, 21.000 metre karelik bir alanı kaplayan Wal-Mart alışveriş merkezlerinde, Wal-Mart'ın çevrimiçi sitesinde bulunan kitap sayısının en fazla altıda biri bulunduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada, yeni ya da kullanılmış kitapların ticareti için özellikle ikincil kitap pazarları için tasarlanmış, Kitap Elektronik Pazarı (KEP) modeli adı verilen bir elektronik pazar modeli önerilmiştir. Bu modelde, pazar katılımcıları hem alıcı hem de satıcı rollerine sahip olabilir. Bu da eş zamanlı olarak her katılımcının sahip olduğu kitaplar için satış teklifi verebileceği ve sahip olmak istediği kitaplar için de satın alma taleplerini bildirebileceği anlamına gelir. Satış teklifi verilen her kitap tekil bir ürün olarak kabul edilir ve fiyatı satıcısı tarafından teklif içerisinde belirtilir. Bu iki yönlü pazar modeli, pazar katılımcılarının, satın almak istedikleri kitaplar için satmak istedikleri kitaplardan elde edecekleri geliri harcayabilmelerine imkân verir. Model ayrıca, her kullanıcı için bir bütçe sınırı mekanizması da içermektedir. Öyle ki bu mekanizma ile her katılımcının satın aldığı kitapların toplam tutarı ile sattığı kitaplardan elde edilen gelirin farkı, o katılımcının bildirdiği bütçe sınırını aşamaz. Bu nedenle, bu model bütçesi sınırlı olan katılımcıların, satılacak kitaplarından elde ettikleri gelirleri kullanarak yeni kitaplar satın almalarını sağlar ve bütçe açığı riski olmadan bu kullanıcıların pazara katılmalarını teşvik eder.

Pazarda bir katılımcının satın almak istediği kitabın birden fazla kopyası olabilir ya da katılımcı birden fazla farklı kitap arasından bir tanesini almak istiyor olabilir. Örneğin, katılımcının ilgilendiği bir fizik kitabının pazarda farklı basımları ya da aynı basımın farklı kullanıcılar tarafından satılan kopyaları olabilir. Bu katılımcı, bu kitaplar arasından yalnız birini almak isteyebilir. Bu gibi durumlar için KEP modeli

kullanıcıların ikame kitapları belirtebilmelerine imkân veren bir mekanizmaya da sahiptir. Her kullanıcı ikame edilebilir kitapların bir listesini oluşturup, bu liste içerisinde en fazla bir (ya da kaç kitap almak istiyorsa o sayıda) kitap almak istediğini belirtebilir. İlâveten, bu listedeki kitaplar için dilerse öncelik tercihini de belirtebilir. Bu özellikler sayesinde, KEP modeli ikinci el kitap pazarlarına daha fazla katılımcı çekmeyi ve bu pazarların tahsis verimliliğini arttırmayı amaçlamaktadır.

Bir sonraki bölümde, KEP modeli örnek bir kitap pazarı senaryosu üzerinden ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Bölüm 3'te, KEP modelinin matematiksel tanımı verilmiş ve modele ait kazanan belirleme problemi doğrusal tam sayılı programlama kullanılarak formüle edilmiştir. Karmaşıklık analizleri de sunulmuştur. Kazanan belirleme problemi NP-Zor sınıfına dahil olduğundan Bölüm 4'te tek çözüm üzerinde hızlı çalışan iki yapıcı sezgisel yöntem ve ayrıca diğer yöntemlere göre çözüm uzayında daha çok arama yapan popülasyon tabanlı Karınca Kolonisi Optimizasyonu yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemlerin kapsamlı bir test paketi üzerindeki performanslarını gösteren deneysel sonuçlar Bölüm 5'te sunulmuştur. Makale Bölüm 6'da sonuçlandırılmıştır.

II. KİTAP ELEKTRONİK PAZAR MODELİ

Bu çalışmada önerilen KEP modelinde, her katılımcı eşzamanlı olarak kitap alış ve satış isteklerini belirtebilir, dolayısıyla her katılımcı satıcı rolünde, alıcı rolünde veya her iki rolde birlikte olabilir. Modelde katılımcıların istekleri üç aşamada alınır. Birinci aşamada, satıcı rolü olan katılımcılar, satmak istedikleri kitapları sisteme bildirirler. Bu bildirimlere *satış istekleri* adı verilir. Bu modelde, satılacak her kitap tekil bir ürün olarak kabul edilir ve fiyatı sahibi tarafından belirlenir. Bu özellik, alıcıların farklı satıcılar tarafından satılan aynı kitabın kopyaları arasında ayırım yapabilmelerini sağlar. Örneğin, kitabın fiyatı, kitabın durumu, satıcısının itibarı, satıcının konumu ve ilgili transfer maliyeti aynı kitabın kopyaları için değişiklik gösterebilir.

İkinci aşamada, alıcı rolü olan katılımcılar, satın almak istedikleri kitapları bildirirler. Bu bildirimlere *alış istekleri* adı verilir. Yukarıda da belirtildiği üzere, pazarda aynı kitabın birçok kopyası olabilir veya bir katılımcı, birkaç farklı kitabı eşdeğer olarak değerlendiriyor ve bu kitaplardan sadece birisini almak istiyor olabilir (örneğin birkaç farklı roman arasından bir roman). Bu durum göz önüne alındığında, KEP modelinde katılımcılar alış istekleri içerisinde sadece tek bir kitap değil, bir kitap listesi (*istek listesi*) bildirmesine izin verilir. Bir katılımcı tarafından oluşturulan her istek listesi, katılımcının bu listedeki bütün kitaplarla ilgilendiğini, ancak bu listedeki kitaplardan yalnızca birini satın almak istediğini belirtir. Ayrıca, katılımcı ilan ettiği istek listesindeki

kitapları tamamen eşdeğer olarak değerlendirmiyorsa, istek listesi katılımcının öncelik tercihlerini gösterecek şekilde sıralı olarak da verilebilir. Örneğin, bir katılımcının istek listesi {A Kitabı, C Kitabı, B Kitabı} şeklinde ise, katılımcının A kitabını, C kitabına, C kitabını da B kitabına tercih ettiği anlaşılır. Modelde her istek listesinden en fazla bir adet kitap alınacağı varsayılmıştır. Ancak bu varsayım aynı listeden daha fazla kitap almak isteyen katılımcılar için bir sınırlama getirmez. Katılımcı bir istek listesinden birden fazla kitap almak istiyorsa, o istek listesini başka alış isteği olarak almak istediği kitap sayısı kadar tekrarlar. Alış isteklerinin bu modelde tekil olması gerekli değildir.

Alış ve satış istekleri toplandıktan sonra, üçüncü aşamada alıcı rolü olan her katılımcı isterse bir bütçe sınırı bildirir. Bütçe sınırı, katılımcının pazarda harcamak istediği azami para miktarını gösterir. Katılımcının ayrıca bir satıcı rolü varsa, bütçe sınırı, katılımcının harcama tutarı ile geliri arasındaki azami farkı gösterir. Başka bir deyişle, her katılımcının kitaplara harcadığı tutar ile sattığı kitaplardan elde ettiği gelir arasındaki fark o katılımcının belirlemiş olduğu bütçe sınırını aşamaz.

Pazar sürecinin anlaşılmasını kolaylaştırmak için, Şekil 1'de gösterilen örnek bir senaryo hazırlanmıştır. Bu senaryoda, dört katılımcı altı farklı kitabı 15 TL ile 40

TL arasında değişen fiyatlarla satışa çıkarmıştır. Örneğin, birinci katılımcı, sahip olduğu A ve B kitaplarını sırasıyla 30 TL ve 20 TL'ye satmak istediğini belirttiği bir satış isteği iletmıştır. Satış isteğine ilave olarak, C ve D kitaplarından da bir tanesini almak istediğini belirten bir alış isteğini de bildirmiştir. Bu alış isteği ile birinci katılımcı, C kitabını, D kitabına tercih ettiğini de ifade etmektedir. Son olarak katılımcı 10 TL'lik bir bütçe sınırı beyan etmiştir. Görüldüğü üzere, bu bütçe sınırı, katılımcının C veya D kitaplarından herhangi birisini alabilmesi için yeterli değildir. Bu katılımcının bu kitaplardan birisini alabilmesi için satmak istediği kitaplardan en az birinin satılması gerekmektedir.

Benzer şekilde, ikinci katılımcı, sahip olduğu C ve D kitaplarını satmak istediğini belirtmiştir. Fakat birinci katılımcıdan farklı olarak, bu katılımcı iki satın alma isteği bildirmiştir. Hem A kitabını hem de E, F ve B kitaplarından bir tanesini, dolayısıyla toplam iki adet kitap almak istediğini ifade etmiştir. Ayrıca, E kitabını, F kitabına, F kitabını da B kitabına tercih ettiğini de belirtmiştir. Bütçe sınırı olarak 0 TL belirtmesi, katılımcının belirttiği iki kitap alım isteğinin ancak her iki kitabı satılırsa yerine getirilebileceğini göstermektedir.

	 Satış Teklifleri	 Alış Teklifleri	 Bütçe Sınırı
1. Katılımcı	 A Kitabı - ₺30 ve B Kitabı - ₺20	{C Kitabı, D Kitabı} listesinden 1 kitap	₺10
2. Katılımcı	 C Kitabı - ₺40 ve D Kitabı - ₺30	A Kitabı ve {E Kitabı, F Kitabı, B Kitabı} listesinden 1 kitap	₺0
3. Katılımcı	 E Kitabı - ₺15	F Kitabı	₺10
4. Katılımcı	 F Kitabı - ₺25	{D Kitabı, C Kitabı} listesinden 1 kitap	₺15

Şekil 1. KEP modeline ait örnek senaryo.

KEP modelinin temel amacı, katılımcıların kitap satın almak için sattıkları kitaplardan elde edilecek geliri kullanmalarını sağlayarak kitap pazarının tahsis verimliliğini arttırmaktır. Bu özelliğin yararı bu senaryoda da görülebilir. Katılımcıların bütçe sınırları, istedikleri kitapları satın almalarına izin vermemektedir. Bu nedenle, bu modelin kullanılmadığı geleneksel kitap pazarlarında, önce kitaplarını satışa çıkaracaklar, eğer kitapları satılırsa elde edilen bütçeyi kullanarak yeni kitaplar satın alabileceklerdir. Bu örnek senaryoda, hiçbir katılımcının bütçesi almak istediği herhangi bir kitabı karşılayacak değerde olmadığı için, geleneksel bir pazarda hiçbir katılımcı kitap alıp, satamayacaktır. Bununla birlikte, KEP modelinin kullanıldığı bir pazarda bu senaryonun sonucu aşağıdaki gibidir:

- Birinci katılımcı, A kitabını satar ve C kitabını satın alır. Toplam 10 TL harcar ve alışveriş sonundaki bakiyesi 0 TL olur.
- İkinci katılımcı, C ve D kitaplarını satar ve A ve E kitaplarını satın alır. Toplam 25 TL kazanır ve alışveriş sonundaki bakiyesi 25 TL olur.
- Üçüncü katılımcı, E kitabını satar ve F kitabını satın alır. Toplam 10 TL harcar ve alışveriş sonundaki bakiyesi 0 TL olur.
- Dördüncü katılımcı, F kitabını satar ve D kitabını satın alır. Toplam 5 TL harcar ve alışveriş sonundaki bakiyesi 10 TL olur.
- Toplam ticaret hacmi 140 TL olur.

Örnek senaryonun sonucundan görüldüğü gibi, bu model, ticaret tamamlandıktan sonra hiçbir katılımcının bütçesinin açık vermesine, diğer bir deyişle negatif bakiyeye düşmesine izin vermez.

Modelin uygulanması da oldukça basittir. Önceden belirlenmiş bir süre içerisinde katılımcılardan alış ve satış istekleri ile bütçe sınırı değerleri toplanır. Bu sürenin sonunda, bir sonraki bölümde açıklanan eniyileme (optimizasyon) problemi çözülerek pazar dengesi bulunur. Bir katılımcının gerçekleştirilemeyen istekleri, katılımcının isteği doğrultusunda bir sonraki tura aktarılabilir. Her bir turun süresi, katılımcı sayısına ve verilen istek sayısına göre belirlenebilir. Daha uzun süreler, daha iyi tahsis verimliliği sağlar ancak aynı zamanda birim zamanda daha az işlem hacmi oluşmasına neden olur, yani pazar verimini düşürür.

Elektronik pazarlarda genel olarak müzayede veya sabit fiyat mekanizması kullanılır. Örneğin, eBay her iki mekanizmayı da desteklemektedir ve satıcılar kendi uygun gördükleri mekanizmayı tercih edebilmektedirler. Yapılan çok sayıda çalışma (kaynak taraması için bakınız [10]), müzayede mekanizması kullanıldığı durumda satıcıların beklenen gelirinin, sabit fiyat mekanizması kullanıldığı duruma göre daha yüksek olacağını göstermektedir. Bununla birlikte, Einav ve arkadaşları [11] yaptıkları çalışmada, 2016 yılı verilerine göre eBay'de yer alan satıcıların

%90'ından fazlasının sabit fiyat mekanizmasını tercih ettiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle KEP modelinde sabit fiyat mekanizması kullanılmıştır. Yazar önceki çalışmasında [12] ise, çift taraflı müzayede tabanlı, DABC adı verilen bir model önermiştir. DABC modelinde KEP modeline benzer olarak bir bütçe sınırlama mekanizmasına sahiptir. Ancak fiyat belirleme mekanizması KEP modelinden oldukça farklıdır. DABC modelinde her satıcı sisteme bir ya da daha fazla satış teklifi iletir. Satış teklifleri satılacak malın tanımını ve satıcının o malı satmak istediği en düşük fiyatı içerir. Alıcılar ise sisteme alış tekliflerini iletirler. Alış teklifleri alınması istenen malı ve alıcının o malı satın almak istediği en yüksek fiyatı içerir. Her bir mal için satış teklifi fiyatı ile alış teklifi fiyatı arasındaki fark fayda değerini belirler. Bir mal için alışveriş fiyatı, k-DA politikası ile belirlenir. DABC modelinin amacı toplam faydayı eniyilemektir. KEP modeli ise kitap elektronik pazarları için önerilmiştir ve sabit fiyat mekanizmasını kullanır. Satılan kitapların fiyatı satıcılar tarafından belirlenir ve alışveriş bu fiyat üzerinden gerçekleştirilir. Alıcılar, DABC modelinin aksine alış teklifleri yerine satın almak istedikleri bir ya da daha fazla kitabı içeren alış isteklerini bildirirler. Alış istekleri fiyat bilgisi içermez ve alış isteklerinde kitapların alıcıların tercihlerine göre önceliklendirilmesi mümkündür. KEP modelinin amacı ise kullanıcıların alış isteklerinde bildirdikleri kitap tercihlerine göre belirlenmiş ağırlık değerlerini baz alarak toplam ticaret hacmini eniyilemektir. Dolayısıyla iki modelin kazanan belirleme problemleri birbirinden farklıdır.

III. KEP MODELİNİN MATEMATİKSEL TANIMI VE KAZANAN BELİRLEME PROBLEMİ

KEP modeli matematiksel olarak şöyle tanımlanabilir: $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ pazardaki m adet katılımcının kümesi ve B_i de katılımcı t_i tarafından satışa çıkarılan kitapların kümesi olsun ($1 \leq i \leq m$). KEP modelinde her bir kitap tekil olarak tanımlanır. Dolayısıyla pazarda mevcut olan kitaplar kümesi $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ ise şu şekilde tanımlanır: $B = \bigcup_{i=1}^m B_i$ ($\forall i, i' \mid B_i \cap B_{i'} = \emptyset$). $P = (p_{b_1}, p_{b_2}, \dots, p_{b_n})$ listesi kitapların fiyatlarını içerir ki p_{b_j} değeri, b_j kitabının sahibi tarafından belirlenen fiyatını gösterir ($1 \leq j \leq n$, $p_{b_j} \in \mathbb{R}^+ \cup \{0\}$). Katılımcıların bütçe sınırları ise $L = (l_1, l_2, \dots, l_m)$ listesi ile gösterilir ki l_i değeri t_i katılımcısının bütçe sınırını ifade eder ($l_i \in \mathbb{R}^+ \cup \{0\}$).

KEP modelinde bir alış isteği $r_k = (r_{k1}, r_{k2}, \dots, r_{kz})$, z adet kitabı içeren ve sahibinin tercihlerine göre yüksek tercih önceliğinden düşüğe doğru sıralanmış olan bir listedir ($1 \leq l \leq z, r_{kl} \in B$). Bu da matematiksel olarak, $(r_{k1} > r_{k2} > \dots > r_{kz})$ olarak ifade edilir ki $r_{kx} > r_{ky}$ ise alış isteğini veren katılımcı r_{kx} kitabını r_{ky} kitabına tercih ediyor anlamına gelir. Bir t_i katılımcısı tarafından bildirilen alış isteklerinin kümesi

R_i ile gösterilir ve and bütün alış istekleri kümesi $R = \{r_1, r_2, \dots, r_v\}$ ise $R = \bigcup_{i=1}^m R_i$ şeklinde tanımlanır.

Bir alış isteğinin anlamı şu şekilde açıklanır: t_i katılımcısı r_k alış isteğini bildirmekle, r_k listesindeki kitaplardan en fazla bir adet almak istediğini ifade etmiş olur. Eğer r_k alış isteği içerisinde henüz bir kitap alınmamışsa, ayrıca isteğin içerisinde başkası tarafından satın alınmamış en az bir kitap varsa ve bu kitabın fiyatı t_i katılımcısının bütçesi dahilinde ise r_k alış isteği *karşılabilir* olarak tanımlanır. Ayrıca t_i katılımcısının *bütçesi*, ya da diğer bir deyişle *bakiyesi*, satılan kitaplardan elde ettiği gelir + bütçe sınırı değeri – satın aldığı kitapların tutarı şeklinde tanımlanır.

KEP modeline ait *Kazanan Belirleme Problemi* (KBP) ise birlikte karşılanabilir alış isteklerini içeren olası bütün kümelerin arasından karşılanan isteklere ait ağırlıklı toplamlarının en büyük olanının bulunması problemi olarak tanımlanır. KBP bir birleşimsel optimizasyon problemidir.

KBP, doğrusal tam sayı programlama metodu ile formüle edilebilir. Bu amaçla, bir ikili değişken x_{kl} tanımlanmıştır. Bu değişken şu şekilde tanımlanır:

$$x_{kl} = \begin{cases} 1 & \text{eğer alış isteği } r_k \text{ karşılanarak } r_{kl} \text{ kitabı alındı ise} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases} \quad (1)$$

KBP, doğrusal tam sayı programlama metodu ile şu şekilde formüle edilebilir:

$$\max \sum_{\substack{r_k \in R \\ r_{kl} \in R_k}} w_{kl} \cdot x_{kl} \quad (2)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{\substack{r_k \in R \\ r_{kl} \in R_k \\ r_{kl} = b_j}} x_{kl} \leq 1 \quad (b_j \in B) \quad (3)$$

$$\sum_{r_{kl} \in R_k} x_{kl} \leq 1 \quad (r_k \in R) \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{r_k \in R_i \\ r_{kl} \in R_k}} p_{r_{kl}} x_{kl} - \sum_{\substack{r_k \in R \\ r_{kl} \in R_k \\ r_{kl} \in B_i}} p_{r_{kl}} x_{kl} \leq l_i \quad (t_i \in T) \quad (5)$$

$$x_{kl} \in \{0,1\} \quad (\forall k, l) \quad (6)$$

Ağırlık değerleri w_{kl} ise şu şekilde tanımlanabilir (α değeri çözücü tarafından numerik olarak ihmal edilemeyecek kadar büyük ve en küçük para biriminden küçük olacak şekilde seçilen herhangi bir değerdir):

$$w_{kl} = \begin{cases} p_{r_{kl}} & \text{eğer } l = 0 \text{ ise veya } w_{k(l-1)} > p_{r_{kl}} \text{ ise} \\ w_{k(l-1)} - \alpha & \text{aksi taktirde} \end{cases} \quad (7)$$

Bu formülasyonda, Eşitlik (2) alınan/satılan kitapların w_{kl} ağırlık değerlerine göre ağırlıklı toplamlarını enbüyütecek şekilde formüle edilmiş amaç fonksiyonudur. Bu amaç fonksiyonu toplam ticaret hacimini arttırırken kullanıcıların almak istedikleri kitaplar üzerindeki tercihlerini de dikkate alacak şekilde tasarlanmıştır. Eğer sadece ticaret hacmi dikkate alınacak olsaydı w_{kl} ağırlık değerleri ilgili kitabın satış fiyatı olarak belirlenmesi gerekirdi. Bu durumda ise şöyle bir sorun ortaya çıkacaktı: Bir katılımcı alış isteğinde fiyatı farklı iki kitap, örneğin A ve B kitaplarını istemiş olsun. A kitabının fiyatı 10 TL, B kitabının ise 20 TL olduğunu ve katılımcının bu kitaplardan ucuz olanını (A kitabı) pahalı olanına (B kitabı) tercih ettiğini varsayalım. Dolayısıyla katılımcının belirttiği alış isteği {A Kitabı, B Kitabı} şeklinde olacaktır. Eğer katılımcının bütçesi bu iki kitabı da almaya izin veriyorsa ve amaç fonksiyonu da ticaret hacmini arttıracak şekilde kullanılmış olursa, A kitabının ağırlık değeri 10, B kitabının ağırlık değeri ise 20 olacaktır. Dolayısıyla bu durumda bu katılımcıya ikinci tercihi olan B kitabı verilecektir ve katılımcının tercihi dikkate alınmamış olacaktır. Ancak Eşitlik (7)'de yer alan ağırlıklandırma metodu ile A kitabının ağırlık değeri yine 10 olacaktır fakat B kitabının ağırlık değeri 9.999 ($\alpha = 0,001$ için) olacaktır. Bu durumda KBP eniyilemesinin sonucunda katılımcı kişisel tercihi ile doğru orantılı olarak A kitabı verilecektir.

Kısıtlar ile ilgili olarak, Eşitlik (3) her kitabın en fazla bir katılımcı tarafından satın alınabilmesini sağlar. Eşitlik (4) ise her alış isteği için, istek sahibi tarafından alınabilecek kitap adedini bir ile sınırlar. Son olarak, Eşitlik (5) bütçe kısıtıdır; her katılımcı için satın alınan kitapların toplam maliyeti ile satılan kitapların geliri arasındaki fark, o katılımcının belirtmiş olduğu bütçe sınırını aşmamalıdır.

Alt küme toplamı problemi [13], polinom zamanında KBP'ye indirgenebilir¹ ve dolayısıyla KBP NP-Zor sınıfına dahildir. Ayrıca tüm katılımcıların bütçe sınırları 0 olduğu durumda, kazanan belirleme problemi ilaveten yaklaşılamaz bir problem haline gelir. Matematiksel ifade ile P=NP olmadığı varsayılırsa, KBP için $\varepsilon \in [0,1)$ için polinom zamanlı ε -yaklaşık algoritma olamaz [14]. Ancak, bu negatif sonucun geçerliliği, en az bir katılımcının istediği kitaplardan en az birini satın almak için yeterli bütçeye sahip olması durumunda ortadan kalkacaktır. Ayrıca diğer taraftan, tüm katılımcıların bütçe sınırları, satılan kitaplardan elde edilen geliri kullanmadan istedikleri her kitabı satın almalarına izin verecek kadar çok ise, kazanan belirleme problemi bir ağ akışı problemine

¹ Yazarmın önceki çalışmasında [12] benzer bir problem için önerdiği indirgeme prosedürü uygun değişikliklerle bu probleme de uygulanabilir.

dönüşür ve böylece polinom zamanda çözülebilir.

IV. SEZGİSEL YÖNTEMLER

KBP, NP-Zor sınıfına ait bir problem olduğu için optimal çözümlerin polinom zamanda bulunabilmesi $P=NP$ olmadığı sürece mümkün değildir. Bu sebepten ötürü bu problem için bu makalede üç farklı sezgisel yöntem önerilmektedir. Bu yöntemlerin ilk ikisi sıfırdan tek bir sonuç oluşturan yapıcı sezgisel yöntem, üçüncüsü ise arama uzayında daha verimli arama yapabilmek amacıyla önerilen popülasyon tabanlı meta-sezgisel bir yöntem olan Karınca Kolonisi Optimizasyonu yöntemidir.

Sıralı Karşılama (SK) olarak adlandırılan ilk sezgisel yönteme ait sözde kod Şekil 2’de görülebilir. Bu yöntemde, ilk olarak girdi olarak verilen KEP modelinin içerisindeki tüm alt istekleri içeren bir S listesi oluşturulur. Örneğin, bir katılımcının isteği *[Kitap C, Kitap A]* ise *Kitap C* ve *Kitap A* için ayrı ayrı iki alt istek listeye eklenir. Bir alt istek, Eşitlik (7)’da tanımlanan ağırlık değerini, alt isteğin sahibini, satın alınması istenen kitabı, S listesi içindeki indeksini ve alt isteğin karşılanıp karşılanmadığı belirten bir bayrağı içeren bir veri yapısıdır. S listesi oluşturulduktan sonra, listedeki tüm alt istekler karşılanmamış olarak işaretlenir ve liste alt isteklerin ağırlık değerlerine göre azalan şekilde sıralanır.

S listesi sıralandıktan sonra, S listesindeki ilk alt istek geçerli alt istek olarak seçilir ve karşılanıp karşılanamayacağı kontrol edilir. Bir alt istek, aşağıdaki şartların tamamının sağlandığı durumda

karşılabilir olarak tanımlanır:

- (i) Alt istek henüz karşılanmamış ise;
- (ii) alt isteğin sahibinin, alt istekte istenen kitabı satın almak için yeterli bütçesi varsa;
- (iii) aynı isteğin içerisinde başka bir alt istek daha önce karşılanmadıysa;
- (iv) alt istekte istenen kitap daha önce satılmadıysa.

Bu tanıma göre, geçerli alt istek karşılanabilir ise direk olarak karşılanır (Bu tanıma göre bir alt isteğin karşılanabilir olup olmadığını kontrol eden Karşılabilir() yöntemi tanımlanmıştır). Bir alt istek karşılandığı zaman kitabın ücreti kitabı satın alan katılımcının bakiyesinden düşürülür ve kitabı satan katılımcının bakiyesine eklenir. Ayrıca, alt istekte istenen kitap satıldı olarak işaretlenir ve o alt isteğin içerisinde yer aldığı isteğin içindeki diğer alt istekler karşılanamaz hale gelir. Bundan sonra, kitabın sahibine ait karşılanabilir alt isteklerin en küçük indeks değerine sahip olanı bulunur ve geçerli alt isteğin indeksi ile karşılaştırılır. Eğer ilki daha küçük ise, yöntem bu alt isteğe atlar, diğer bir deyişle kitabın sahibine ait karşılanabilir alt isteklerin en küçük indeks değerine sahip olanı geçerli alt istek olarak belirlenir. Eğer halihazırdaki geçerli alt isteğin indeksi daha küçük ise veya geçerli alt istek karşılanamaz bir alt istek ise, S listesindeki bir sonraki alt isteğe geçilir ve bu alt istek yeni geçerli alt istek olarak işaretlenir. Yöntem, S listesindeki bütün alt isteklerin işlenmesi tamamlandığında sonra sona erer.

Algoritma 1 Sıralı Karşılama

Girdi: KEP modeli P .

Çıktı: Birlikte karşılanabilir alt isteklerin listesinden oluşan çözüm $C_{sezgisel}$.

```

1:  $P$  içindeki bütün alt istekleri içeren  $S \leftarrow \{S_1, S_2, \dots, S_f\}$  alt istek listesini üret
2:  $C_{sezgisel} \leftarrow \{\}$ 
3:  $S$  listesini, içindeki alt istekler ağırlık değerlerine göre azalacak şekilde sırala
4:  $S$  listesindeki bütün alt istekleri karşılanmamış olarak işaretle
5:  $indeksS \leftarrow 0$ 
6: while  $indeksS < f$  do
7:    $indeksR \leftarrow f$ 
8:    $altistek \leftarrow S[indeksS]$ 
9:   if Karşılabilir( $altistek$ ) then
10:     Karşıla( $altistek$ )
11:      $altistek$ 'i  $C_{sezgisel}$ 'e ekle
12:     for each  $altistek$ 'de istenen kitabın sahibine ait her bir alt istek  $altistek2$  için do
13:       if  $İndeks(altistek2) < indeksR$  and  $İndeks(altistek2) < indeksS$  and Karşılabilir( $altistek2$ ) then
14:          $indeksR \leftarrow İndeks(altistek2)$ 
15:       end if
16:     end for
17:   end if
18:   if  $indeksR < f$  then
19:      $indeksS \leftarrow indeksR$ 
20:   else
21:      $indeksS \leftarrow indeksS + 1$ 
22:   end if
23: end while
24: return  $C_{sezgisel}$ 

```

Şekil 2. Sıralı Karşılama Sezgisel Yönteminin Sözde Kodu.

SK yönteminde, geçerli alt isteğin sahibi, istenen kitabı satın almak için yeterli bütçeye sahipse geçerli alt istek karşılanmaktadır. Önerilen ikinci yöntem olan Gelir Sağlayarak Sıralı Karşılama (GSSK) yönteminde ise eğer alt isteğin sahibi o alt istekte istenen kitabı satın

almak için yeterli bütçeye sahip değilse, bir sonraki alt isteğe geçmek yerine, önce alt istek sahibinin gelirinin artırılmasına çalışılır. GSSK yönteminin sözde kodu Şekil 3'te görülebilir.

Algoritma 2 Gelir Sağlayarak Sıralı Karşılama

Girdi: KEP modeli P .

Çıktı: Birlikte karşılanabilir alt isteklerin listesinden oluşan çözüm $C_{sezgisel}$.

```

1:  $P$  içindeki bütün alt istekleri içeren  $S \leftarrow \{S_1, S_2, \dots, S_f\}$  alt istek listesini üret
2:  $C_{sezgisel} \leftarrow \{\}$ 
3:  $S$  listesini, içindeki alt istekler ağırlık değerlerine göre azalacak şekilde sırala
4:  $S$  listesindeki bütün alt istekleri karşılanmamış olarak işaretle
5:  $indeksS \leftarrow 0$ 
6: while  $indeksS < f$  do
7:    $indeksR \leftarrow f$ 
8:    $altistek \leftarrow S[indeksS]$ 
9:   if BütçeKontrolsüzKarşılanabilir( $altistek$ ) then
10:    if  $altistek$ 'in sahibinin bütçesi  $altistek$ 'in fiyatını karşılayamıyorsa then
11:       $S_{bütçe} \leftarrow \{\}$ 
12:       $bütçeDüzeltildi \leftarrow hayır$ 
13:      for each  $altistek$ 'in sahibinin sattığı kitapların istendiği her bir alt istek  $altistekGelen$  için do
14:        if Karşılanabilir( $altistekGelen$ ) then
15:          Karşıla( $altistekGelen$ )
16:           $altistekGelen$ 'i  $S_{bütçe}$ 'ye ekle
17:          if  $altistek$ 'in sahibin bütçesi  $altistek$ 'in fiyatını karşılayabiliyorsa then
18:             $bütçeDüzeltildi \leftarrow evet$ 
19:            break // for each döngüsü
20:          end if
21:        end if
22:      end for
23:      if not  $bütçeDüzeltildi$  then
24:        GeriAl( $S_{bütçe}$ )
25:         $indeksS \leftarrow indeksS + 1$ 
26:        continue // while döngüsü
27:      else
28:         $S_{bütçe}$ 'yi  $C_{sezgisel}$ 'e ekle
29:      end if
30:    end if
31:    Karşıla( $altistek$ )
32:     $altistek$ 'i  $C_{sezgisel}$ 'e ekle
33:    for each  $altistek$ 'in sahibinin veya  $altistek$ 'de istenen kitabın sahibinin her bir alt isteği  $altistek2$  için do
34:      if  $İndeks(altistek2) < indeksR$  and  $İndeks(altistek2) < indeksS$  and Karşılanabilir( $altistek2$ ) then
35:         $indeksR \leftarrow İndeks(altistek2)$ 
36:      end if
37:    end for
38:  end if
39:  if  $indeksR < f$  then
40:     $indeksS \leftarrow indeksR$ 
41:  else
42:     $indeksS \leftarrow indeksS + 1$ 
43:  end if
44: end while
45: return  $C_{sezgisel}$ 

```

Şekil 3. Gelir Sağlayarak Sıralı Karşılama Sezgisel Yönteminin Sözde Kodu.

Bütçe artışını sağlayabilmek için SK yönteminde kullanılan karşılanabilirlik tanımına göre tanımlanmış Karşılanabilir() yöntemi yerine, GSSK yönteminde bütçe kontrolünü devre dışı bırakan Bütçe Kontrolsüz Karşılanabilir() yöntemi kullanılmıştır. Dolayısıyla, Bütçe Kontrolsüz Karşılanabilir() yöntemi yukarıda

listelenen karşılanabilirlik koşullardan (i), (iii), ve (iv) koşullarını kontrol eder. Daha sonra, geçerli alt isteğin sahibi, talep etmiş olduğu kitabı satın almak için yeterli bütçeye sahip değilse, GSSK yöntemi, önce alt istek sahibinin sahip olduğu kitapları isteyen alt istekleri, ki bunlar *gelen alt istekler* olarak adlandırılır, karşılamaya

çalışarak, geçerli alt istek sahibinin bütçesini o alt isteği karşılayacak şekilde iyileştirmeye çalışır. Eğer geçerli alt isteğin sahibinin bütçesi yeterli duruma gelebilirse, geçerli alt istek karşılanır. Aksi taktirde, bütçe iyileştirme amacıyla karşılanan gelen alt isteklerin hepsi karşılanmamış durumuna geri alınır. Eğer geçerli alt istek karşılandıysa GSSK yöntemi, bütçesi artırılan katılımcıların karşılanabilir en küçük indeksli alt isteğinin indeks değerini geçerli alt isteğin indeks değeri ile karşılaştırır, eğer ilki küçükse o alt istek bir sonraki geçerli alt istek olarak belirlenir. Eğer ikincisi küçükse ya da geçerli alt istek karşılanamamışsa, S listesindeki bir sonraki alt isteğe geçilir ve bu alt istek yeni geçerli alt istek olarak işaretlenir. Yöntem, S listesindeki bütün alt isteklerin işlenmesi tamamlandığında sonra sona erer.

Önerilen SK ve GSSK yöntemleri tek bir çözüm oluşturmak üzere tasarlanmış yapıcı sezgisel yöntemlerdir. Bu çalışmada üçüncü bir sezgisel yöntem olarak popülasyon tabanlı yapıcı bir sezgisel yöntem olan Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) yöntemi önerilmiştir. KKO sezgisel yöntemi ilk olarak Dorigo ve arkadaşları tarafından 1990'lı yıllarda önerilmiştir [15, 16]. Bu yöntemde genel olarak karınca kolonilerine ait gözlemlerden esinlenmiştir.

Karıncalar koloniler halinde yaşayan ve bireysel olarak değil de bir koloni olarak hayatını sürdürmek üzere davranış sergileyen, sosyal yaşam gösteren böceklerdir. KKO yöntemlerinde esas olarak karıncaların yemek arama yönteminden, özel olarak da buldukları yemek kaynağı ile yuvaları arasındaki en kısa mesafeyi bulma yönteminden esinlenilmiştir. Karıncalar yemek ararken, önce yuvalarının etrafını rastgele bir şekilde ararlar. Bu aramayı yaparken yere iz feromonu adı verilen kokan bir madde bırakırlar. Karıncalar feromon kokusunu da alabilir. Yuvasından çıkan bir karınca yemek kaynağına ulaşmak için olasılıksal olarak feromon yoğunluğu yüksek olan yolu takip eder [17].

KKO yöntemi ilk olarak Dorigo ve arkadaşları [15] tarafından Karınca Sistemi adı altında gezgin satıcı problemine uygulanmıştır. Daha sonra yöntem çeşitli şekillerde geliştirilmiştir. Bu geliştirmelerden en

bilinenlerinden bir tanesi Dorigo ve Gambardella [18] tarafından önerilen Karınca Kolonisi Sistemi yöntemidir. Karınca Kolonisi Sistemi, Karınca Sistemine nazaran daha verimli çalışmakta ve daha büyük boyutlu problemleri çözebilmektedir. KKO yöntemleri ile ilgili daha kapsamlı bir tartışma Dorigo ve Stützle'nin kitabında bulunabilir [19].

Bu çalışmada KBP için büyük boyutlu problemleri çözebilecek şekilde verimli olduğu için Karınca Kolonisi Sistemi tabanlı KKO yöntemi uygulanmıştır [18, 20]. Bu yöntemde ait sözde kod Şekil 4'te görülebilir. Bu yöntemde ilk olarak başlangıç feromon değeri, γ , hesaplanmaktadır. Bu değer, verilen problemin önce GSSK yöntemi kullanılarak bulunan toplam ağırlık değerinin ölçeklenmesi ile bulunur. KKO yönteminde verilen problemde yer alan her bir alt istek için bir feromon değeri içeren, \vec{p} feromon vektörü kullanılır. Bu vektördeki tüm değerler hesaplanmış olan başlangıç feromon değerine, γ , eşitlenir.

Feromon vektörü hazırlandıktan sonra verilen problem için seçkin seçme yöntemi kullanılarak popülasyon büyüklüğü, diğer bir deyişle karınca sayısı kadar yeni çözümler üretilir. Oluşturulan popülasyon içindeki çözümlerin en iyisi (en yüksek toplam ağırlığa sahip olan), şimdiye kadar bulunan en iyi çözümlerle karşılaştırılır ve gerekirse bulunan en iyi çözüm güncellenir. Daha sonra feromon buharlaşma oranı, β , parametresine bağlı olarak feromon değerleri, başlangıç feromon değerine, γ , yaklaşacak şekilde azaltılır. Bu işleme feromon buharlaşması adı verilmektedir. Daha sonra, şimdiye kadar bulunan en iyi sonuç içerisinde karşılanmış olan her bir alt isteğe ait feromon değeri, feromon seçkin güncelleme oranı, α , parametresine bağlı olarak artırılır. Arttırma oranı şimdiye kadar bulunan en iyi sonucun toplam ağırlık değeriyle doğru orantılıdır. Bu işleme feromon güncellemesi adı verilmektedir. Feromon güncellenmesi tamamlandıktan sonra yeni bir popülasyon oluşturulması işlemi ile devam edilir. Bulunan en iyi sonuç t parametresi ile belirlenen sayıda popülasyon üretildikten sonra bile hala değişmemişse, yöntem sonlandırılır.

Algoritma 3 Karınca Kolonisi Sistemi**Girdi:** KEP modeli P ,

- popülasyon büyüklüğü N ,
- feromon seçkinci güncelleme oranı α ,
- feromon buharlaşma oranı β ,
- alt istek seçiminde kullanılacak ayar parametresi ϵ ,
- seçkinci seçme yöntemi oranı q ,
- durma popülasyon sınırı t .

Çıktı: Birlikte karşılanabilir alt isteklerin listesi S_{eniyyi}

- 1: P içindeki bütün alt istekleri içeren $S \leftarrow \{S_1, S_2, \dots, S_f\}$ alt istek listesini üret
- 2: Gelir Sağlayarak Sıralı Karşılama yöntemini çalıştır ve $C_{sezgisel}$ çözümünü hesapla
- 3: $\gamma \leftarrow \text{ToplamAğırlık}(C_{sezgisel})/10$
- 4: S içerisindeki bütün *altistek*lerin feromon değerlerini, $\vec{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_f\}$, γ olarak ayarla
- 5: $C_{eniyyi} \leftarrow \{\}$
- 6: **repeat**
- 7: **for** $i \leftarrow 1..N$ **do**
- 8: $C_i \leftarrow \{\}$ // popülasyon içindeki i indeksli çözüm
- 9: **repeat**
- 10: $S_{aday} \leftarrow C_i$ 'ye eklendiğinde olursuz (İng. infeasible) hale getirmeyecek *altistek*ler
- 11: Seçkinci seçme yöntemi ile S_{aday} içinden bir *altistek* belirle, S_{aday} 'dan çıkar ve C_i 'ye ekle
- 12: **until** $|S_{aday}| = 0$
- 13: **if** $\text{ToplamAğırlık}(C_{eniyyi}) = 0$ **or** $\text{ToplamAğırlık}(C_{eniyyi}) < \text{ToplamAğırlık}(C_i)$ **then**
- 14: $C_{eniyyi} \leftarrow C_i$
- 15: **end if**
- 16: **end for**
- 17: **for each** $p_i \in \vec{p}$ **do**
- 18: $p_i \leftarrow (1 - \beta) p_i + \beta \gamma$ // feromon buharlaşması
- 19: **if** $S_i \in C_{eniyyi}$ **then**
- 20: $p_i \leftarrow (1 - \alpha) p_i + \alpha \text{ToplamAğırlık}(C_{eniyyi})$ // feromon güncellemesi
- 21: **end if**
- 22: **end for**
- 23: **until** C_{eniyyi} son t popülasyonda aynı kaldıysa
- 24: **return** C_{eniyyi}

Şekil 4. Karınca Kolonisi Sistemi Yönteminin Sözde Kodu.

Bu yöntemde, bir popülasyon içindeki çözümler oluşturulurken yukarıda da belirtildiği üzere seçkinci seçme yöntemi [20] kullanılır. Seçkinci seçme yönteminde öncelikli olarak her bir alt isteğin, S_i , cazibe değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\text{Cazibe}(S_i) = p_i \times \text{Ağırlık}(S_i)^\epsilon \quad (8)$$

Bu formüle, p_i , S_i alt isteğine ait feromon değerini, $\text{Ağırlık}(S_i)$, S_i alt isteğinin ağırlık değerini gösterir. Alt istek seçiminde kullanılacak ayar parametresi, ϵ , ise yöntemin ayarlanabilir bir girdi parametresidir. Bir alt isteğin ağırlığının feromon değerine nazaran cazibesine olan etkisini belirler.

Daha sonra sıfırdan karşılanabilir alt istekler birer birer karşılanarak çözüm oluşturulur. Karşılancak olan alt isteğin seçiminde, seçkinci seçme oranı, q , parametresi ($0 \leq q \leq 1$) kullanılır. Sürekli düzgün dağılıma uygun olarak 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı üretilir. Bu sayı q değerinden küçük ise karşılanabilir alt istekler içerisinde cazibe değeri en yüksek olan alt istek seçilir. Eğer değilse o zaman turnuva seçimi yöntemi ile rastgele bir karşılanabilir alt istek seçilir. Seçilen alt istek karşılanarak çözüme eklenir. Karşılancak bir alt istek kalmayana kadar bu işleme devam edilir.

Dolayısıyla bu yöntemde oluşturulan çözümlere ilave edilebilecek karşılanabilir bir alt istek kalmayacağı garanti edilir. Diğer bir deyişle oluşturulan bütün çözümler olurlu bölgenin sınırındadır.

V. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Önerilen sezgisel yöntemlerin gerçek hayattaki pazar koşullarında gösterecekleri performansları tahmin edebilmek üzere bir test problemi üretici geliştirilmiş ve bir test paketi hazırlanmıştır. Test problemi üretici, tüm yaygın sürekli ve kesikli rasgele sayı dağılımlarını destekleyen sözde rastgele sayılar üretmek için GNU Scientific Library [21] kullanır. Oluşturulan test paketi, farklı pazar koşullarını test edebilmek üzere 1280 farklı problemden oluşmaktadır. Bu problemlerde satışa sunulan kitap ve satın alma istek sayıları Poisson dağılımıyla ortalama değeri 600 ile 1500 arasında, her bir istek içerisinde istenen kitap sayısı ise yine Poisson dağılımıyla ortalama değeri 2 ile 5 arasında değişecek şekilde belirlenmiştir. İlaveten ortalama boyutu 10 ile 100 kitap arasında değişen boyutta kitap öbekleri tanımlanmış ve satın alma isteklerinde istenen kitaplar bu öbeklerdeki kitaplar arasından düzgün dağılımla belirlenmiştir. Test problemlerindeki kitapların fiyatları ise Ghose ve arkadaşlarının [22] Amazon.com

kitap pazarındaki satış bilgilerinden oluşturdukları istatistiksel profil kullanılarak belirlenmiştir.

Bölüm 3'te belirtildiği üzere, tüm katılımcıların bütçe sınırı sıfır olduğu zaman, KEP problemi yaklaşılmaz bir problem olur ve dolayısıyla optimal değil, olurlu bir çözüm bulmak dahi zor bir problem haline gelir. Esasen bu problemlerin muhtemelen toplam ağırlık değerinin (amaç değeri) sıfırdan büyük olan olası bir çözümü yoktur. Öte yandan, tüm katılımcılar tüm olası satın alımları için yeterli bütçeye sahip olduklarında, problem oldukça kolay hale gelmekte, polinom zamanda optimal sonuç bulunabilmektedir. Aslında, gerçek hayat pazarlarında karşılaşılabilecek olan problemler çoğunlukla bu iki nokta arasında olacaktır. Bu nedenle, test paketi kapsamında oluşturulan problemlerde katılımcıların bütçe sınırlarını belirlemek için %10 ile %80 arasında değişen beş farklı bütçe sınırı oranı kullanılmıştır. Bu oran değerleri kullanılarak, t_i katılımcısının bütçe sınırı, l_i , şöyle hesaplanır:

$$l_i = bso_i \times (btç_i^{maks} - btç_i^{min}) + btç_i^{min} \quad (9)$$

Bu formülde bso_i , t_i katılımcısının bütçe sınırı oranını, $btç_i^{min}$, t_i katılımcısının bütün kitaplarının satıldığı varsayıldığında, satın almak istediği en ucuz bir tane kitabı almak için gerek duyacağı en düşük bütçe miktarını, $btç_i^{maks}$, ise t_i katılımcısının hiçbir kitabının satılmadığı varsayıldığında, satın almak istediği bütün kitapları (alternatifler içerisinde en pahalısı seçilerek) alabilmesi için gerekli en düşük bütçe miktarını ifade eder.

Üretilen test problemleri, 128 GB belleğe ve iki adet 8 çekirdekli 3.10 GHz CPU'ya sahip bir sunucuda, 64 bit Linux işletim sistemi üzerinde çalışan Gurobi Karma Tam Sayılı Programlama (KTP) çözücüsünün 8. sürümü [23] kullanılarak çözülmüştür. Çözücü tek bir iş parçacığı kullanarak şekilde yapılandırılmış ve her bir problem için 60 dakikalık bir zaman sınırı tanımlanmıştır. Oluşturulan test paketine optimal çözümlerin makul bir zamanda bulunabilmesi için özellikle büyük ölçekli problemler dahil edilmediği halde (en fazla 1500 istek içeren problemler üretilmiştir) test paketi içerisinde yer alan 1280 probleminden belirtilen zaman sınırı dahilinde ancak 1174 tanesinin (%91,7'sinin) optimal sonucu bulunabilmiştir. Yapılan deneylerde bu sonuçlar kullanılmıştır.

Bu çalışmada önerilen üç sezgisel yöntemin, SK, GSSK ve KKO, başarımlarını değerlendirmek için hazırlanan test paketi içinde yer alan her bir test problemi bu yöntemlerle çözülmüş ve elde edilen sonuçlar aynı problem için Gurobi KTP çözücüsünün bulduğu sonuçlarla kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama için sezgisel yöntemler tarafından oluşturulan çözümlerin kalitesini gösterebilmek amacıyla aşağıdaki şekilde tanımlanan iyilik oranı kullanılmıştır:

$$\text{Bir Çözümün İyilik Oranı} = \frac{\text{Sezgisel Yöntemin Bulduğu Ağırlık Değeri}}{\text{Optimal Ağırlık Değeri}} \times 100 \quad (10)$$

Ancak kıyaslamayı yapmadan önce, sezgisel yöntemlerin parametrelerinin değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Önerilen SK ve GSSK yöntemlerinde ayarlanabilir bir parametre bulunmamaktadır. Ancak KKO yönteminde Şekil 4'te de görüldüğü üzere 6 farklı parametre mevcuttur. Bu parametrelerin belirlenmesi için Karınca Kolonisi Sisteminin tanımlandığı ve uygulandığı Dorigo ve Gambardella'nın çalışmasından [18] yararlanılmıştır. Bu doğrultuda alt istek seçiminde kullanılacak ayar parametresinin, ϵ , değeri 2 olarak, durma popülasyon sınırı, t , parametresinin değeri ise 50 olarak tanımlanmıştır.

Diğer dört parametreden üçünün uygun değerleri ise yapılan ilk deney ile belirlenmiştir. Bu deneyde feromon seçkinci güncelleme ve buharlaşma oranlarının, α , β , ve seçkinci seçme yöntemi oranının, q , değişik değerleri için test paketindeki problemler KKO yöntemi ile çözülmüştür. Bu parametrelerin değişimine bağlı olarak KKO yönteminin optimal sonuçlara göre iyilik oranları Tablo 1'de görülebilir. Dikkat edilmelidir ki, bu testlerde Dorigo ve Gambardella'nın çalışmasında [18] kullanıldığı şekliyle feromon seçkinci güncelleme ve buharlaşma oranları aynı değerde olacak şekilde belirlenmiştir. Bu parametrelerin birbirleriyle etkileşimini ve parametrelerin değişimlerine bağlı olarak ortalama iyilik oranları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını saptamak için iki yönlü ANOVA testi (iki yönlü varyans analizi) uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre, %99 güven aralığında feromon seçkinci güncelleme ve buharlaşma oranları, α , β , ve seçkinci seçme yöntemi oranı, q , arasında iyilik oranı için istatistiksel olarak anlamlı bir etkileşim bulunmamaktadır ($F(4, 31716) = 3,117$, $p = 0,014$, kısmi $\eta^2 < 0,0005$). Dolayısıyla, ana etkiler incelenebilmiştir. Ana etkilerin sonuçları şöyledir:

- Farklı feromon seçkinci güncelleme ve buharlaşma oranları, α , β , için ortalama iyilik oranında %99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($F(2, 31716) = 0,382$, $p = 0,683$, kısmi $\eta^2 < 0,001$).
- Farklı seçkinci seçme yöntemi oranları, q , için ortalama iyilik oranları arasındaki fark %99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlıdır ($F(2, 31716) = 69,486$, $p < 0,0005$, kısmi $\eta^2 = 0,004$). Dolayısıyla çoklu karşılaştırma yapılmıştır.
- Seçkinci seçme yöntemi oranı, $q = 0,9$ için elde edilen ortalama iyilik oranı değeri, seçkinci seçme yöntemi oranı, $q = 0,7$ için elde edilen ortalama iyilik oranı değerinden %0,7 daha yüksektir ve bu fark %99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,0005$, aralık: %0.4 - %1.1).

- Seçkin seçme yöntemi oranı, $q = 0,7$ için elde edilen ortalama iyilik oranı değeri, seçkin seçme yöntemi oranı, $q = 0,5$ için elde edilen ortalama iyilik oranı değerinden %0,6 daha yüksektir ve bu fark %99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,0005$, aralık: %0.2 - %0.8).
- Seçkin seçme yöntemi oranı, $q = 0,9$ için elde edilen ortalama iyilik oranı değeri, seçkin seçme yöntemi oranı, $q = 0,5$ için elde edilen ortalama iyilik oranı değerinden %1.3 daha yüksektir ve bu fark %99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,0005$, aralık: %0.9 - %1.6).

Tablo 1. Feromon seçkin güncelleme ve buharlaşma oranlarının (α, β) ve seçkin seçme yöntemi oranının (q) değişimlerine göre karınca kolonisi optimizasyonu yönteminin optimal sonuçlara göre iyilik oranları (Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma). Yapılan testlerde güncelleme ve buharlaşma oranları aynı değerde kullanılmıştır.

Feromon Seçkin Güncelleme ve Buharlaşma Oranı (α, β)	Seçkin Seçme Yöntemi Oranı (q)							
	0,5		0,7		0,9		Genel	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
0,1	%90,5	%8,0	%90,5	%7,7	%91,6	%7,6	%90,9	%7,8
0,3	%90,3	%8,1	%91,1	%7,7	%91,6	%7,7	%91,0	%7,9
0,5	%90,2	%8,1	%91,0	%7,8	%91,6	%7,7	%91,0	%7,9
Genel	%90,3	%8,1	%90,9	%7,8	%91,6	%7,7	%90,9	%7,9

Ayrıca yine bu parametrelerin değişimine bağlı olarak KKO yönteminin çalışma zamanları da Tablo 2’de verilmiştir. Parametrelerin değişimine bağlı olarak, çalışma zamanlarının ortalama değerlerindeki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını saptamak için yine iki yönlü ANOVA testi (iki yönlü varyans analizi) uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre, feromon seçkin güncelleme ve buharlaşma oranları, α, β , ve

seçkin seçme yöntemi oranı, q , arasında iyilik oranı arasında %99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı bir etkileşim bulunduğu görülmektedir ($F(3, 31716) = 18,795$, $p < 0,0005$, kısmi $\eta^2 = 0,002$). Dolayısıyla ana etkiler yerine, basit ana etkiler incelenmiştir. Basit ana etkilere bağlı olarak yapılan çoklu karşılaştırma sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4’te görülebilir.

Tablo 2. Feromon seçkin güncelleme ve buharlaşma oranlarının (α, β) ve seçkin seçme yöntemi oranının (q) değişimlerine göre karınca kolonisi optimizasyonu yönteminin çalışma süreleri (saniye cinsinden, Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma). Yapılan testlerde güncelleme ve buharlaşma oranları aynı değerde kullanılmıştır.

Feromon Seçkin Güncelleme ve Buharlaşma Oranı (α, β)	Seçkin Seçme Yöntemi Oranı (q)							
	0,5		0,7		0,9		Genel	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
0,1	23,2	19,9	22,5	21,2	22,1	23,3	22,6	21,5
0,3	23,8	21,2	21,4	19,1	19,5	20,6	21,6	19,8
0,5	25,7	23,9	23,2	23,3	18,7	18,7	22,5	22,3
Genel	24,2	21,8	22,4	21,3	20,1	21,0	22,2	21,4

Tablo 3. Seçilen bir seçkinci seçme yöntemi oranına (q) göre feromon seçkinci güncelleme ve buharlaşma oranları (α, β) parametresinin değişiminin karınca kolonisi optimizasyonu yöntemine ait ortalama çalışma süresine olan etkisinin iki-yönlü ANOVA testi ve çoklu karşılaştırma yöntemi ile analizi. Her bir basit ana etki içerisindeki çoklu karşılaştırmalar için Bonferroni düzeltmesi uygulanmıştır. (*) işaretli değerler ilgili ortalama çalışma süreleri arasındaki farkın %99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Seçilen Seçkinci Seçme Yöntemi Oranı (q)	Birinci Karşılaştırılan Feromon Seçkinci Güncelleme ve Buharlaşma Oranı (α, β)	İkinci Karşılaştırılan Feromon Seçkinci Güncelleme ve Buharlaşma Oranı (α, β)	Ortalama Çalışma Süreleri Arasındaki Fark (saniye)
0,5	0,1	0,3	-0.605
		0,5	-2.546 *
	0,3	0,1	0.605
		0,5	-1.942 *
	0,5	0,1	2.546 *
		0,3	1.942 *
0,7	0,1	0,3	1.092
		0,5	-0.745
	0,3	0,1	-1.092
		0,5	-1.837 *
	0,5	0,1	0.745
		0,3	1.837 *
0,9	0,1	0,3	2.566 *
		0,5	3.45 *
	0,3	0,1	-2.566 *
		0,5	0.884
	0,5	0,1	-3.45 *
		0,3	-0.884

Tablo 4. Seçilen bir feromon seçkinci güncelleme ve buharlaşma oranına (α, β) göre seçkinci seçme yöntemi oranı (q) parametresinin değişiminin karınca kolonisi optimizasyonu yöntemine ait ortalama çalışma süresine olan etkisinin iki-yönlü ANOVA testi ve çoklu karşılaştırma yöntemi ile analizi. Her bir basit ana etki içerisindeki çoklu karşılaştırmalar için Bonferroni düzeltmesi uygulanmıştır. (*) işaretli değerler ilgili ortalama çalışma süreleri arasındaki farkın %99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

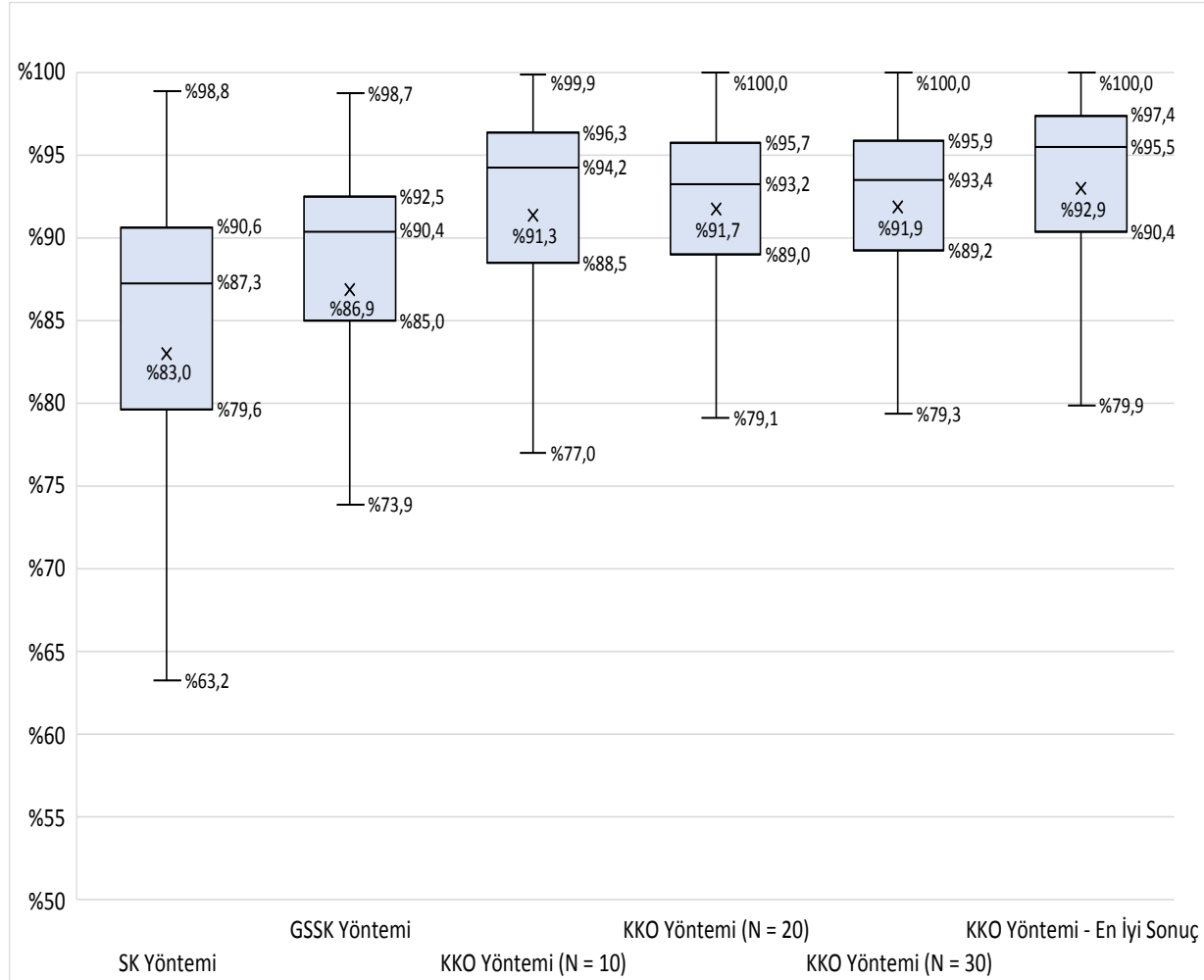
Seçilen Feromon Seçkinci Güncelleme ve Buharlaşma Oranı (α, β)	Birinci Karşılaştırılan Seçkinci Seçme Yöntemi Oranı (q)	İkinci Karşılaştırılan Seçkinci Seçme Yöntemi Oranı (q)	Ortalama Çalışma Süreleri Arasındaki Fark (saniye)
0,1	0,5	0,7	0.693
		0,9	1.059
	0,7	0,5	-0.693
		0,9	0.366
	0,9	0,5	-1.059
		0,7	-0.366
0,3	0,5	0,7	2.390 *
		0,9	4.230 *
	0,7	0,5	-2.390 *
		0,9	1.840 *
	0,9	0,5	-4.230 *
		0,7	-1.840 *
0,5	0,5	0,7	2.494 *
		0,9	7.056 *
	0,7	0,5	-2.494 *
		0,9	4.562 *
	0,9	0,5	-7.056 *
		0,7	-4.562 *

Bu sonuçlara bakıldığında en iyi ortama değerleri sağlayan Feromon seçkinci güncelleme ve buharlaşma oranları, α , β , için 0.5 değerinin, seçkinci seçme yöntemi oranı, q , içinse 0.9 değerinin uygun olduğu değerlendirilmiş ve bir sonraki deneyde bu değerler kullanılmıştır. Sonucu parametre olan popülasyon büyüklüğü parametresinin, N , etkisi ise yine bir sonraki deneyde incelenecektir.

KKO yönteminin parametreleri belirlendikten sonra, yapılan ikinci deney kapsamında önerilen üç sezgisel yöntemin başarımlarını ölçmek üzere test paketi içindeki bütün problemler bu yöntemlerle ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntemlerin iyilik oranlarına ait kutu grafiği ve ortalama iyilik oranları Şekil 5’de görülebilir. Tek çözüm üreten yapıcı sezgisel yöntemler olan SK ve GSSK yöntemleri sırasıyla %83 ve %87 ortalama iyilik

oranını sağlamışlardır. İki yöntem arasındaki %4’lük fark, GSSK yönteminde kullanılan gelir artırma özelliğinin kayda değer fayda sağladığını göstermektedir.

Popülasyon temelli sezgisel yöntem olan KKO yöntemi ise beklenileceği üzere SK ve GSSK yöntemlerine göre ortalama daha iyi sonuçlar vermektedir. Kullanılan popülasyon büyüklüğüne (karınca sayısı olarak da anılmaktadır), 10, 20 ya da 30, bağlı olarak ortalama başarıları %91 ile %92 arasında değişmektedir (yukarıda belirtildiği üzere bu deneylerde $\alpha = \beta$ için 0,5; q için 0,9 değeri kullanılmıştır). Ayrıca her bir problem için KKO yönteminin deneylerde kullanılan bütün parametre değerleri için (α ve β için 0,1 veya 0,3 veya 0,5; q için 0,5 veya 0,7 veya 0,9; N için 10 veya 20 veya 30) bulabildiği en iyi sonuçların ortalama iyilik oranı ise yaklaşık olarak %93’e yükselmektedir.



Şekil 5. Önerilen sezgisel yöntemlerin optimal çözümlere göre iyilik oranlarını gösteren kutu grafiği. ‘x’ işareti ortalama değeri göstermektedir.

Bu deneye ait sonuçlardaki ortalama değerler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını anlamak için tek yönlü ANOVA testi (tek yönlü varyans analizi) ve akabinde Tukey testi tabanlı çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır [24]. Elde edilen

sonuçlara göre %99 güven aralığında GSSK yöntemine ait ortalama iyilik değeri, SK yönteminin ortalama iyilik değerinden, KKO yönteminin kullanılan herhangi bir popülasyon büyüklüğü için (KKO Yöntemi $N=10$, 20 ve 30) sağladığı ortalama iyilik değerinin ise GSSK

yönteminin ortalama iyilik değerinden anlamlı olarak farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca yine bu seviyede, parametrelerin değerlerinin sabit olduğu diğer KKO yöntemlerinin ortalama iyilik değerlerine göre, KKO yönteminin sağladığı en iyi sonuçlara ait ortalama iyilik değerlerindeki artışın da anlamlı olduğu görülmüştür. Yalnız KKO yönteminde sadece popülasyon büyüklüğünün arttığı (KKO Yöntemi N=10, 20 ve 30) durumda, %95 güven aralığında bile istatistiksel olarak anlamlı bir artış görülmemiştir. Dolayısıyla popülasyon büyüklüğünün 10'dan daha fazla bir değerde

kullanılmasının çözüm kalitesinin artışı anlamında ilave bir fayda getirmeyebileceği değerlendirilmektedir.

Bu bölümde son olarak önerilen sezgisel yöntemlerin çalışma zamanları incelenecektir. Çözülen problemlerdeki istek sayılarına bağlı olarak önerilen sezgisel yöntemlerin ve KTP çözücüsünün çalışma zamanlarına ait istatistiksel bilgiler Tablo 5'te görülebilir.

Tablo 5. Toplam istek sayısının değişimine göre önerilen sezgisel yöntemlerin ve optimal çözüm elde etmek için kullanılan Karma Tam Sayı Programlama (KTP) çözücüsünün saniye cinsinden çalışma zamanları (Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma).

Sezgisel Yöntemler	Toplam İstek Sayısı							
	600		900		1200		1500	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
SK Yöntemi	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
GSSK Yöntemi	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
KKO Yöntemi (N=10)	3.7	2.2	7.2	4.4	11.8	7.7	15.5	9.5
KKO Yöntemi (N=20)	7.3	4.6	14.2	8.8	23.2	15.4	31.8	20.9
KKO Yöntemi (N=30)	11.2	6.3	22.2	13.1	33.6	22.0	44.4	27.3
KTP Çözücüsü (Optimal Çözüm)	767	2567	1149	3171	1244	3328	1004	2919

SK ve GSSK yöntemleri oldukça hızlı olup, en çok istek sayısına sahip problemler için bile saniyenin yüzde birinden daha kısa bir zamanda sonuç bulabilmektedir. Dolayısıyla bu yöntemlerin çok yüksek sayıda katılımcı içeren elektronik pazarlarda dahi kullanılabilmesi değerlendirilmektedir. KKO yöntemi ise popülasyon tabanlı olduğundan diğer iki yöntemden nazaran daha yavaş çalışmaktadır ve popülasyon büyüklüğünün 10 olduğu durumda ortalama çalışma süresi yaklaşık 16 saniyeye kadar artabilmektedir. Beklenildiği üzere KKO yöntemlerinde popülasyon büyüklüğündeki artışın yöntemin çalışma zamanında doğru orantılı bir artışa neden olduğu görülmektedir. Bölüm 3'te tartışıldığı üzere KBP, NP-Zor sınıfına dahil olduğundan optimal çözümlerin bulunması çok zaman alabilmektedir. Makul sürede çözüm bulunabilmesi amacıyla nispeten küçük ölçekli problemler üretilmiş olduğu halde, bu problemlerin optimal sonuçlarını bulmanın sezgisel yöntemlere nazaran çok daha fazla zaman (problem başına yaklaşık 1000 saniye kadar) almakta olduğu görülmektedir.

VI. SONUÇ

14 Nisan 2002 tarihli kullanılmış kitap satışlarıyla ilgili açık mektubunda, Amazon.com CEO'su Jeff Bezos şunları yazdı: "... bir müşteri kullanılmış kitaplar sattığında, bu onlara daha fazla yeni kitap satın

alabilmeleri için bir bütçe sağlar." [25]. Bununla birlikte, mevcut kitap pazarlarında, yeni kitap satın alma bütçesi olmayan bir katılımcının, gelir elde etmek için önce kitaplarını satması gerekir. Bu çalışmada, bu sorunun ortadan kaldırmak amacıyla yeni ve kullanılmış kitap satışı için bir elektronik pazar modeli olan KEP modeli önerilmiştir. Bu modelde katılımcılar eşzamanlı olarak kitap alışı ve satışı isteklerini pazar düzenleyicisine iletebilirler ve satın almak istedikleri kitaplar için satmak istedikleri kitaplardan elde edecekleri geliri harcayabilirler. İlavenen her katılımcı için satın alacağı kitapların maliyeti ile satacağı kitapların geliri arasındaki farkın, katılımcının beyan ettiği bütçe sınırını aşmaması için modelde bir bütçe sınırlama mekanizması da sağlanmıştır. Bu mekanizma, katılımcılara, kitaplarının satılmayacağı durumda bile, potansiyel bir bütçe açığı tehlikesi olmadan alış isteklerini iletebilmeleri olanağını verir. Ayrıca, katılımcıların alternatif olarak gördükleri kitapları belirtebilmelerine izin veren bir mekanizma da mevcuttur. Bu mekanizmalar sayesinde, KEP modelinin kitap pazarlarındaki katılımcı sayısının ve tahsis verimliliğinin artışı sağlanacaktır.

Bu çalışmada, KEP modeli matematiksel olarak tanımlanmış ve KEP modeline ait kazanan belirleme problemi bir doğrusal tam sayı programı olarak formüle

edilmiştir. Bu problem NP-Zor sınıfına dahil olduğu için, üç adet sezgisel yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerin başarımlarının ölçülmesi amacıyla kapsamlı bir problem test paketi oluşturulmuş ve önerilen yöntemlerle bu problemler çözülmüştür. Yapılan deneylerde önerilen yöntemlerden ilk ikisinin çok hızlı çalıştığı ve optimal sonuçlara ortalamada %80'inin üzerinde bir oranda yaklaştığı, popülasyon tabanlı karınca kolonisi optimizasyonu yönteminin ise optimal çözümü hesaplayan karma tam sayı programlama çözücüsüne nazaran çok daha kısa bir zamanda optimal çözümlere ortalamada yaklaşık %92'lik bir oranda yaklaştığı görülmüştür. Önerilen yöntemlerin optimal sonucun makul zamanda bulunamayacağı sayıda yüksek sayıda katılımcı içeren elektronik pazarlarda verimli bir şekilde kullanılabilirliği değerlendirilmektedir. Son olarak her ne kadar bu çalışma ikincil kitap pazarlarına odaklanmış olsa da modelin diğer dayanıklı tüketim mallarının alışverişinin yapıldığı ikincil pazarlara da uygulanabilir olduğu dikkate alınmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: FEN-A-130612-0218.

KAYNAKLAR

- [1] Grieger, M., (2003). Electronic marketplaces: A literature review and a call for supply chain management research. *European Journal of Operational Research*, 144(2), 280–294. doi: 10.1016/S0377-2217(02)00394-6
- [2] eBay, (2019). eBay Fast Facts. <https://investors.ebayinc.com/fast-facts/default.aspx>, (Haziran 2020).
- [3] Alibaba Group, (2019). Alibaba Group Announces June Quarter 2019 Results. https://www.alibabagroup.com/en/news/press_pdf/p190815.pdf, (Haziran 2020).
- [4] Kambil A., Nunes P.F., & Wilson D., (1999). Transforming the Marketspace with All-in-One Markets. *International Journal of Electronic Commerce*, 3(4), 11–28. doi: 10.1080/10864415.1999.11518346
- [5] Bakos J.Y., (1991). A Strategic Analysis of Electronic Marketplaces. *MIS Quarterly*, 15(3), 295. doi: 10.2307/249641
- [6] Bakos J.Y., (1997). Reducing Buyer Search Costs: Implications for Electronic Marketplaces. *Management Science*, 43(12), 1676–1692. doi: 10.1287/mnsc.43.12.1676
- [7] Lee H-G., (1998). Do electronic marketplaces lower the price of goods? *Commun. ACM*, 41(1), 73–80. doi: 10.1145/268092.268122
- [8] Wyatt E., (2005). Internet grows as a factor in used-

book business. *New York Times*.

<https://www.nytimes.com/2005/09/29/books/internet-grows-as-factor-in-usedbook-business.html>, (Haziran 2020).

- [9] Brynjolfsson E., Hu Y., & Smith M.D., (2003). Consumer Surplus in the Digital Economy: Estimating the Value of Increased Product Variety at Online Booksellers. *Management Science*, 49(11), 1580–1596. doi: 10.1287/mnsc.49.11.1580.20580
- [10] Bajari P., & Hortaçsu A., (2004). Economic Insights from Internet Auctions. *Journal of Economic Literature*, 42(2), 457–486. doi: 10.1257/0022051041409075
- [11] Einav L., Farronato C., Levin J. & Sundaresan N., (2018). Auctions versus Posted Prices in Online Markets. *Journal of Political Economy*, 126(1), 178–215. doi: 10.1086/695529
- [12] Özer A.H., (2019). A double auction based mathematical market model and heuristics for internet-based secondhand durable good markets. *Computers & Operations Research*, 111: 116–129. doi: 10.1016/j.cor.2019.06.005
- [13] Garey M.R., & Johnson D.S., (1979). Computers and intractability. A guide to the theory of NP-completeness. A series of books in the mathematical sciences. Freeman, San Francisco, California.
- [14] Güntzer M.M., Jungnickel D., & Leclerc M., (1998). Efficient algorithms for the clearing of interbank payments. *European Journal of Operational Research*, 106(1), 212–219. doi: 10.1016/S0377-2217(97)00265-8
- [15] Dorigo M., Maniezzo V., & Colomi A., (1996). Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 26(1), 29–41. doi: 10.1109/3477.484436
- [16] Dorigo M., Maniezzo V., & Colomi A., (1999). Positive Feedback as a Search Strategy. *Teknik Rapor*, 91-016, Dip Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.
- [17] Blum C., (2005). Ant colony optimization: Introduction and recent trends. *Physics of Life Reviews* 2(4), 353–373. doi: 10.1016/j.plrev.2005.10.001
- [18] Dorigo M., & Gambardella L.M. (1997). Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Trans. Evol. Computat.* 1(1), 53–66. doi: 10.1109/4235.585892
- [19] Dorigo M., & Stützle T., (2004). Ant colony optimization. MIT Press, Cambridge, Mass., London.
- [20] Luke S., (2013). Essentials of Metaheuristics, second edition, Lulu.
- [21] GNU, (2019). GNU Scientific Library. <https://www.gnu.org/software/gsl/>, (Haziran 2020).
- [22] Ghose A., Smith M. D., & Telang R., (2006).

Internet Exchanges for Used Books: An Empirical Analysis of Product Cannibalization and Welfare Impact. *Information Systems Research*, 17(1), 3–19. doi: 10.1287/isre.1050.0072

[23] Gurobi, (2019). Gurobi Optimization. <https://www.gurobi.com>, (Haziran 2020).

[24] Sokal R.R., & Rohlf F.J., (1969). *Biometry. The*

principles and practice of statistics in biological research. Freeman, San Francisco.

[25] Bezos J., (2002). Open letter on used book sales. <https://web.archive.org/web/20161002140853/http://archive.oreilly.com/pub/wlg/1291>, (Haziran 2020).

Numerical Investigation of Hydrodynamic and Thermal Boundary Layer Flows over a Flat Plate and Transition Control

Düz Bir Plaka Üzerindeki Hidrodinamik ve Isıl Sınır Tabaka Akışının Sayısal Olarak İncelenmesi ve Geçiş Kontrolü

Gökhan CANBOLAT¹, Alperen YILDIZELİ², Haluk Anıl KÖSE², Sertaç ÇADIRCI²

¹Department of Mechanical Engineering, Alanya Alaaddin Keykubat University, 07450, Antalya, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Istanbul Technical University, 34437, Istanbul, Turkey

Abstract

In this study, Computational Fluid Dynamics (CFD) calculations are performed with ANSYS-Fluent for an external flow over a flat plate under constant surface temperature conditions. By using an Active Flow Control (AFC) method, the flat-plate is heated to manipulate the transition region. Calculations are performed for a steady and turbulent flow at 15 m/s free-stream velocity. Local skin friction coefficient and local heat transfer coefficient distributions along the flat-plate are investigated for laminar and turbulent boundary layers at various constant surface temperatures. For laminar and turbulent flow boundary layer characteristics, theoretical correlations in the literature are used to verify the numerical results. Results show that theoretical correlations are highly consistent with CFD results only in the laminar and turbulent regions and it is also shown that transition can only be predicted by CFD simulations. On the other hand, heating as an AFC method is found to be useful in delaying transition regime over a flat plate.

Keywords: CFD, Forced Convection, Boundary Layer Flow, Active Flow Control, Transition Region Delay

Öz

Bu çalışmada, düz bir plaka üzerindeki bir dış akış için sabit yüzey sıcaklığı koşulları altında ANSYS-Fluent yazılımı kullanılarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) hesaplamaları yapılmıştır. Bir Aktif Akış Kontrolü yöntemi olarak ısıtma, düz plaka geçiş bölgesini manipüle etmek için kullanılmıştır. Hesaplamalar, 15 m/s serbest akım hızında daimi ve türbülanslı bir akış için yapılmıştır. Düz plaka boyunca yerel sürtünme katsayısı ve yerel ısı transfer katsayısı dağılımları çeşitli sabit yüzey sıcaklıklarında, laminar ve türbülanslı sınır tabakaları için incelenmiştir. Laminer ve türbülanslı akış sınır tabakası karakteristiklerinin doğrulanması için literatürdeki teorik korelasyonlar kullanılmıştır. Sonuçlar, teorik korelasyonların sadece laminar ve türbülanslı bölgelerdeki HAD sonuçları ile oldukça tutarlı olduğunu ve ayrıca geçişin sadece HAD simülasyonları ile tahmin edilebileceğini göstermiştir. Öte yandan, bir Aktif Akış Kontrolü yöntemi olarak ısıtmanın, düz bir plaka üzerindeki geçiş rejimini geciktirmede faydalı olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: HAD, Zorlanmış Taşınım, Sınır Tabaka Akışı, Aktif Akış Kontrolü, Geçiş Bölgesinin Geciktirilmesi

I. INTRODUCTION

Flow control methods have been used for a long time with various targets including betterment of aerodynamic performances. Manipulation of transition region by heating and cooling is one of the commonly applied AFC strategies. Particularly, decreasing friction forces has been the subject of such work in literature by using active and passive flow control methods.

Flow control methods are divided into two groups as Active Flow Control (AFC) and Passive Flow Control (PFC). In PFC methods, geometric manipulation of the configuration is applied without using additional power; but in AFC methods an external energy input is required. The separating plate, a small control bar, surface roughness and grooved or protruding surfaces belong to PFC methods. Commonly encountered applications of AFC methods include blowing into or suction from the boundary layer, heating or cooling of the solid surface, delivery of micro bubbles or particles into the base flow, acoustic excitation, using rotating or oscillating objects and electromagnetic forces [1].

Flow control research dates back to the definition of the boundary layer by Ludwig Prandtl in 1904. According to

the needs in military and civil aviation, flow control methods were extensively studied and applied especially to military aircrafts [2]. A comprehensive review about flow control was provided by Lachman (1961) [3] and more recently by Gad-el-Hak et al. (1998) [4]. Liepmann & Nosenchuck, (1982) used an AFC method to delay transition. T-S waves responsible for instability were introduced in a laminar boundary layer flow through periodic heating by flush-mounted heating elements. Experiments showed that nearly all the T-S waves could be eliminated by using a second downstream heating element with a suitable phase shift. A single element activated by measured shear stress in a feedback loop was used to reduce the amplitude of naturally occurring laminar instability waves. Thus, a significant increase in the Reynolds number in the transitional regime was achieved [5]. Dovgal et al. performed experimental studies in order to obtain transition delay by local heating and showed that local heating was capable of maintaining a laminar boundary layer [6]. Canbolat et al. investigated transition control over a flat plate numerically and concluded that a heated flat plate induced the decrease of the local skin friction coefficient in the turbulent region for an incompressible gaseous flow [7]. Subasi and Gunes performed numerical calculations to represent the effect of a heated plate on local skin friction coefficient and showed that heating delayed transition and decreased the skin friction coefficient in turbulent region [8]. The selection of the appropriate turbulence model in engineering problems involving external flows around UAV (Unmanned Air Vehicles) [9] and buildings [10] is vital to obtain consistent aerodynamic performance characteristics.

In the present study, CFD calculations have been performed to manipulate transition regime of the boundary layer under various constant surface temperatures which is a kind of AFC. The CFD results were found to be consistent only in the laminar and turbulent regimes with theoretical formulations for local skin friction and convective heat transfer coefficients, since there are no available theoretical formulations for them in transitional regime. It should be noted that theoretical correlations were used at a constant surface temperature with constant thermophysical properties accordingly in the laminar and turbulent flow regions [11]. Besides, the effects of the surface temperature on transition delay were also presented.

II. METHODOLOGY

Finite-volume-based ANSYS-Fluent flow solver is used to perform CFD calculations in order to predict the flow and temperature domains and consequently the derived local skin friction and heat transfer coefficient along the flat plate. Computational domain, mesh and mesh convergence tests, imposed boundary conditions, governing equations are presented in this section.

2.1. Geometry, Mesh and Mesh Convergence Tests

In this study, computational domain is determined as 2-D domain as shown in Figure 1. In order to satisfy the condition for a fully developed turbulent boundary layer velocity profile, a distance of 0.15 m upstream of the plate is used which is defined by symmetry boundary condition.

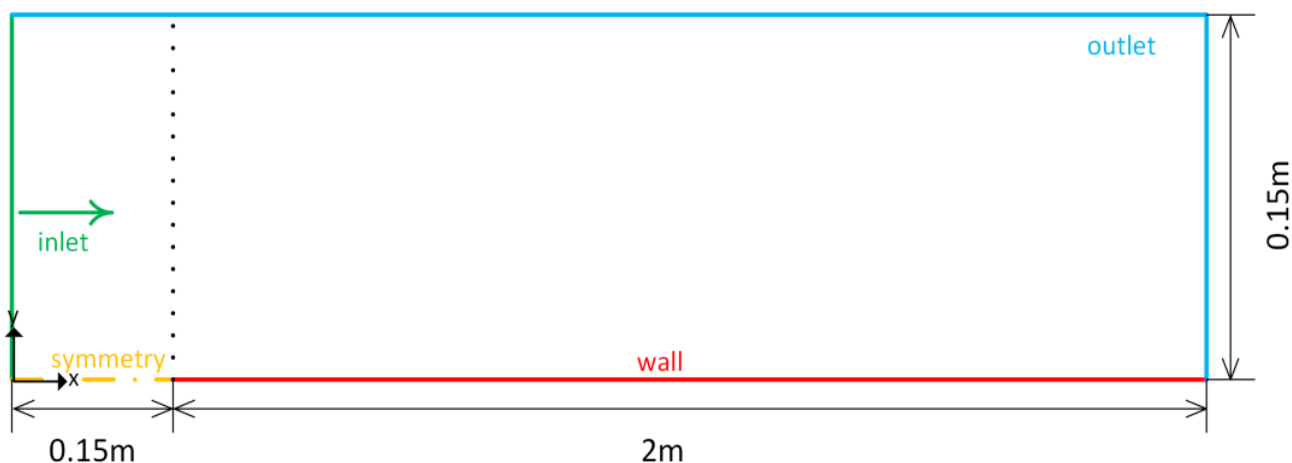


Figure 1. 2D geometry of the flow domain

The computational domain is generated with structured meshing. The whole domain is meshed with quad elements in both directions where the smallest cell in the boundary layer has a height of 0.75 mm. The details

of the mesh in the vicinity of the wall can be seen in Figure 2. To predict the boundary layer development precisely, inflation method is applied to the wall boundary with 35 layers and 1.2 growth rate.

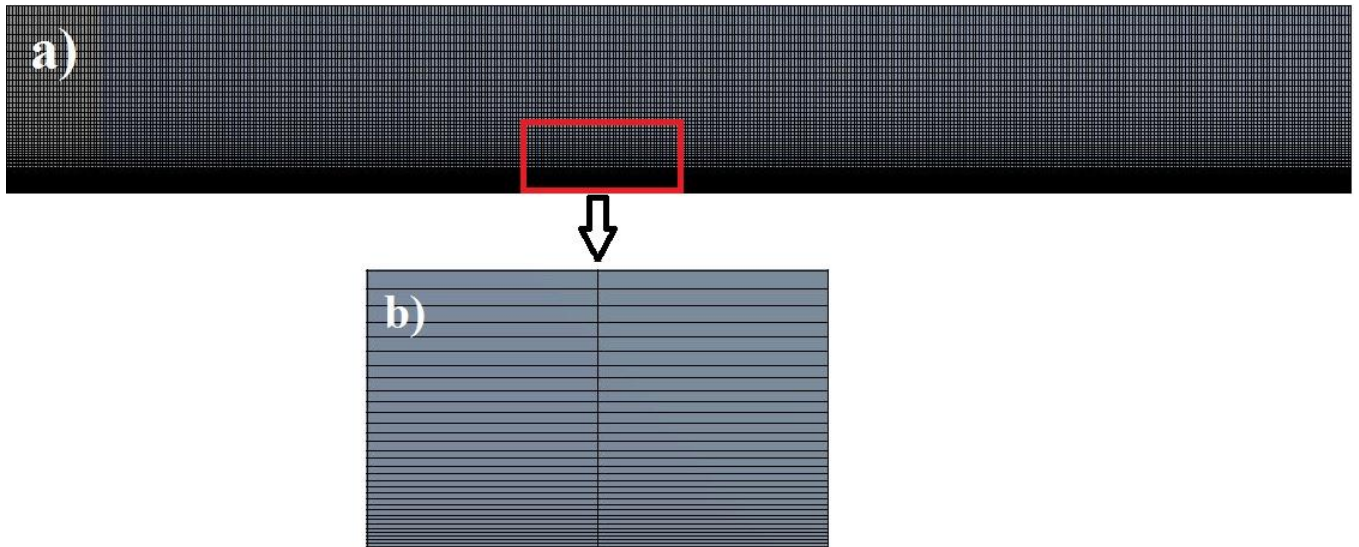


Figure 2. Two-dimensional mesh of fluid domain a) general view b) detailed view of boundary layer

An important criterion in the mesh dependency tests is the wall y^+ value according to the turbulence model. As mesh dependency tests in Figure 3 show nearly 590000 quad elements are found to be sufficient for further calculations. The wall y^+ values should be around 1 for Transition SST turbulence model and this is a necessity for accurate prediction of the boundary layer flow consistent with experiments [12].

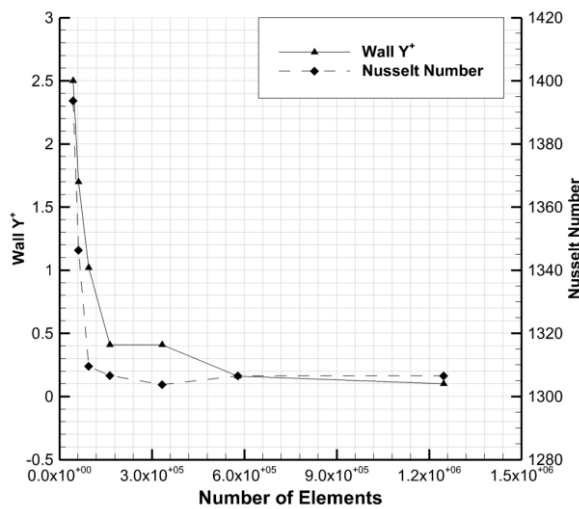


Figure 3. Mesh dependency tests

2.2. Governing Equations and Boundary Conditions

Conservation equations of mass, momentum (Navier-Stokes equations) and energy are given in Equations (1a), (1b) and (1c), respectively.

In the current study, steady and incompressible flow assumptions are done.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \tag{1a}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) \\ &= -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) \end{aligned} \tag{1b}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} [u_i (\rho E + p)] \\ &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(k + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i (\tau_i)_{eff} \right] + S_h \end{aligned} \tag{1c}$$

In the Equation (1) ρ , u , μ , E , c_p , τ and S_h represent density, velocity, dynamic viscosity, internal energy, specific heat, shear stress and source term, respectively. The transition SST model is based on the coupling of the SST $-k-\omega$ transport equations with two other transport equations, one for the intermittency and one for the transition onset criteria, in terms of momentum-thickness Reynolds number. The details of the turbulence model can be found in [13].

Hydrodynamic and thermal inlet boundary conditions are constant free-stream velocity of 15 m/s with 3 % turbulence intensity and 27°C constant free-stream temperature. The plate surface is wall with no-slip boundary condition and has constant surface temperatures such as 50°C, 75°C, 100°C and 125°C. The outlet is defined with pressure outlet.

Boundary conditions are summarized in Table 1. backflow values in the boundary conditions for outlet applies if backflow occurs. Due to the nature of the problem backflow doesn't occur.

Table 1. Boundary conditions of the problem

Boundary name:	Hydrodynamic Boundary Conditions:	Thermal Boundary Conditions:
Inlet	$u = 15 \text{ m/s}$, $v = 0 \text{ m/s}$, $I = 3\%$	$T = 27^\circ\text{C}$
Outlet	$p = 0$ $I_{\text{backflow}} = 3\%$	$T_{\text{backflow}} = 27^\circ\text{C}$
Plate Surface	$u = 0 \text{ m/s}$, $v = 0 \text{ m/s}$ (no slip)	50°C , 75°C , 100°C and 125°C
Symmetry	$\frac{\partial u}{\partial y} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$

It is assumed that the film temperature (T_f) is the average of the surface and free-stream temperatures [8] as shown in Equation 2.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (2)$$

As suggested in [11], the average film temperature is used to determine the constant thermo-physical properties of air in simulations and tabulated in Table 2.

Table 2. Thermo-physical properties of air

T_s [°C]	T_f [°C]	ρ [kg/m ³]	μ [kg/ms]	k [W/mK]	c_p [J/kg K]
50	38.5	1.1348	1.9055×10^{-5}	0.026930	1.0068×10^3
75	51	1.0892	1.9653×10^{-5}	0.027873	1.0075×10^3
100	63.5	1.0502	2.0195×10^{-5}	0.028730	1.0083×10^3
125	76	1.0110	2.0772×10^{-5}	0.026943	1.0092×10^3

Equation (3) and Equation (4) show the local wall shear stress and friction coefficient for the laminar boundary layer flow over a flat plate, respectively. The local friction coefficients for the laminar and turbulent boundary layer zones can be theoretically predicted by Equation (5) and Equation (6), respectively [11].

$$\tau_{s,x} = 0.332 \times u_\infty \sqrt{\frac{\rho \mu u_\infty}{x}} \quad (3)$$

$$C_{f,x} = \frac{2\tau_{s,x}}{\rho u_\infty^2} \quad (4)$$

$$C_{f,x,lam} = 0.664 \text{Re}_x^{-1/2} \quad (5)$$

$$C_{f,x,tur} = 0.027 \text{Re}_x^{-1/7} \quad (6)$$

In Equations (3)-(6), u_∞ , Re_x and $C_{f,x}$ denote free-stream velocity, local Reynolds number, local skin friction coefficient, respectively. The mean skin friction coefficient along the flat plate can be calculated by Equation (7). In the equation, x_c represents the distance from the leading edge of the flat plate where transition initiates. These theoretical approaches are used to confirm the numerical results in the laminar and turbulent regimes of the boundary layer flow.

$$\bar{C}_{f,L} = \frac{1}{L} \left(\int_0^{x_c} C_{f,x,lam} dx + \int_{x_c}^L C_{f,x,tur} dx \right) \quad (7)$$

$$\bar{C}_{f,L} = 0.074 \text{Re}_L^{-1/5} - \frac{2}{\text{Re}_L} \left[0.037 \text{Re}_{x,c}^{4/5} - 0.664 \text{Re}_{x,c}^{1/2} \right] \quad (8)$$

Similar to the wall friction coefficient, local Nusselt number variation along the flat plate are calculated. The local Nusselt number in Equation (9) can be written for the laminar and turbulent regions as indicated in Equation (10) and Equation (11), respectively.

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} \quad (9)$$

$$Nu_{x,lam} = 0.332 \text{Re}_x^{1/2} \text{Pr}^{1/3} \quad (10)$$

$$Nu_{x,tur} = 0.0296 \text{Re}_x^{4/5} \text{Pr}^{1/3} \quad (11)$$

The theoretical approaches for the mean heat transfer coefficient in Equation (12) and Equation (13) in addition to mean Nusselt number in Equation (14) are utilized for the validation of CFD results. These equations can be found in [11].

$$\bar{h}_L = \frac{1}{L} \left(\int_0^{x_c} h_{lam} dx + \int_{x_c}^L h_{tur} dx \right) \quad (12)$$

$$\bar{h}_L = \frac{k}{L} \text{Pr}^{1/3} \quad (13)$$

$$\bar{Nu}_L = \text{Pr}^{1/3} \left[x \left[0.332 \left(\frac{u_\infty}{\nu} \right)^{1/2} \int_0^{x_c} \frac{dx}{x^{1/2}} + 0.0296 \left(\frac{u_\infty}{\nu} \right)^{4/5} \int_{x_c}^L \frac{dx}{x^{1/5}} \right] \right] \quad (14)$$

$$x \left[0.0037 \text{Re}_L^{4/5} - \left(0.037 \text{Re}_{x,c}^{4/5} - 0.664 \text{Re}_{x,c}^{1/2} \right) \right]$$

III. RESULTS

In this section, the numerically obtained local skin friction coefficients and local heat transfer coefficients are compared with theoretical correlations at various constant surface temperatures. It should be pointed out, that the theoretical correlations for the local skin friction coefficient and local heat transfer coefficient are only valid in the laminar and fully turbulent flow regions, since the only way to predict transitional change in the boundary layer is numerical simulation. Figure 4. shows the comparison of the local skin friction coefficients from theoretical and numerical calculations.

As it can be seen in Figure 4. and Figure 5, numerical results are highly compatible with theoretical correlations in the laminar and fully turbulent flow regions. It should be noted, that x_c in the theoretical formulations in Equation (7) and Equation (11) has been determined according to the critical Reynolds number 500.000.

Table 3. shows the numerical and theoretical average flow and heat transfer characteristics. With increasing surface temperature, the overall skin friction coefficient increases as well which is associated to the increasing dynamic viscosity and related friction forces on the flat plate at that certain temperature.

Temperature dependency of the dynamic viscosity also affects the Nusselt number which can be expressed in terms of the Re and Pr. In the current study, Pr is constant, hence Nu changes only with Re. In gaseous flows, with increasing temperature, dynamic viscosity increases and as a result both local Re and as well as the overall values for Nu tend to decrease.

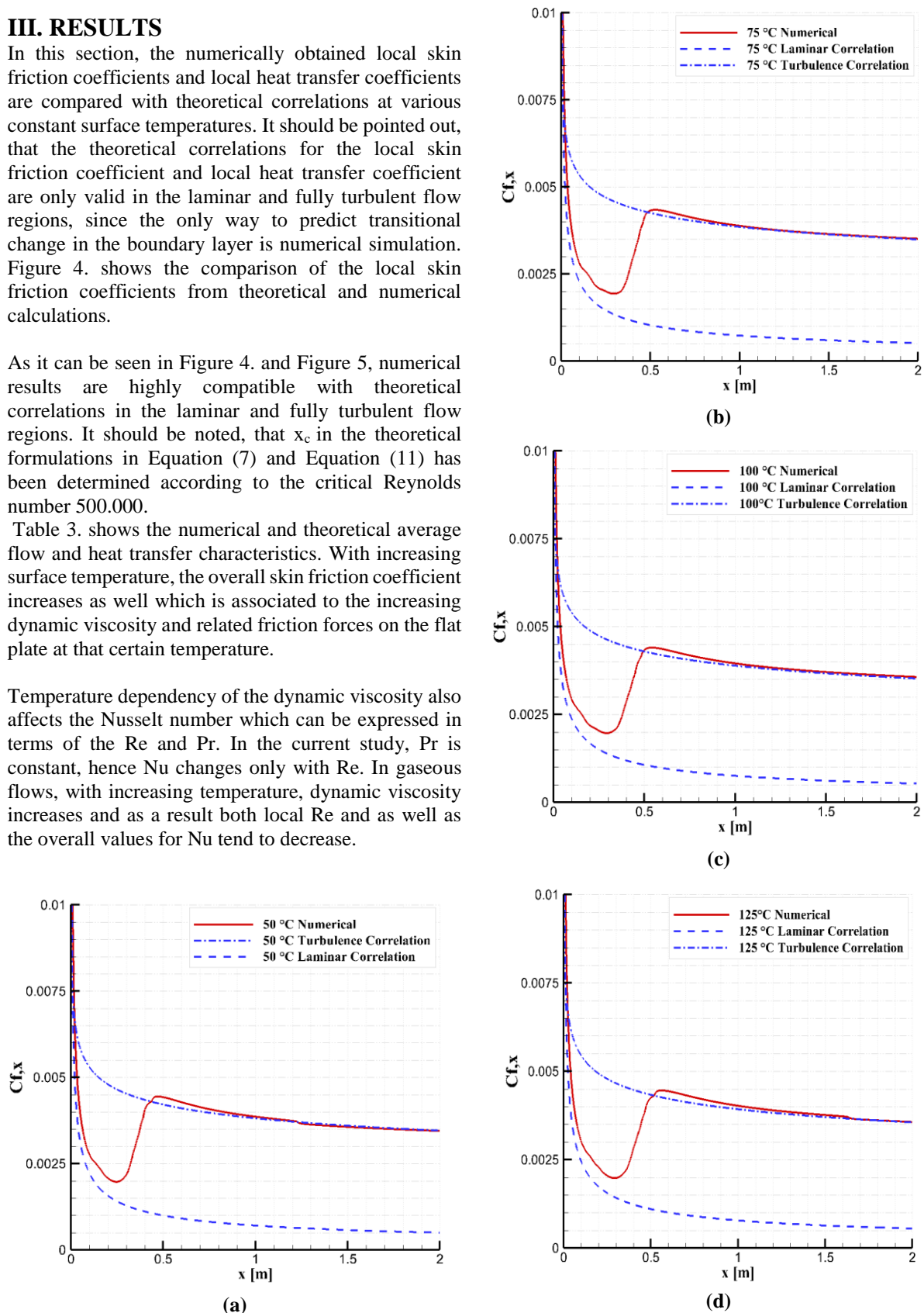
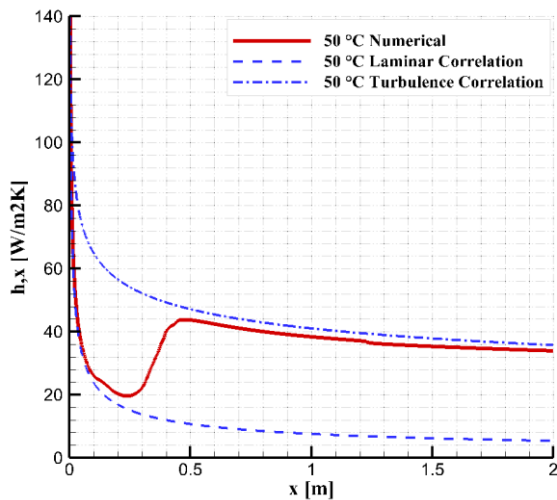


Figure 4. Variation of local skin friction coefficients in streamwise direction at different surface temperatures.

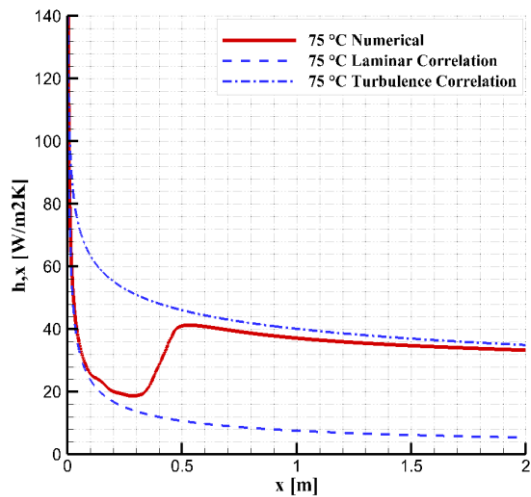
Table 3. Comparison of the average flow and heat transfer characteristics

T_s [°C]	$\bar{C}_{f,L}$ (CFD)	$\bar{C}_{f,L}$ (Theoretical)	Mean Relative Error (%)
50	0.00369	0.00330	10.8
75	0.00371	0.00331	10
100	0.00373	0.00332	11
125	0.00378	0.00334	11.6

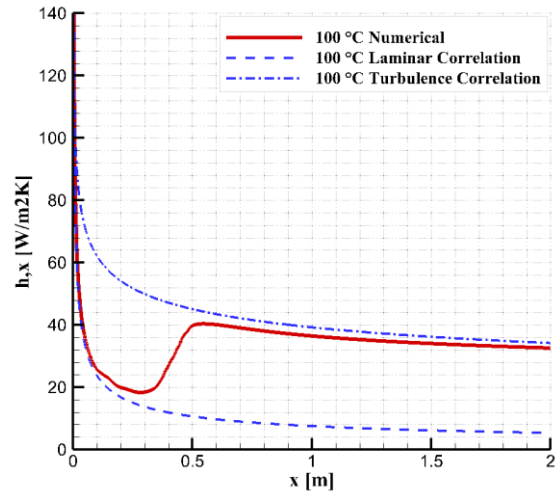
T_s [°C]	\bar{h}_L (CFD)	\bar{h}_L (Theoretical)	Mean Relative Error (%)
50	36.30	35.78	1.4
75	34.71	34.18	1.5
100	34.02	33.22	2.3
125	33.18	32.26	2.8



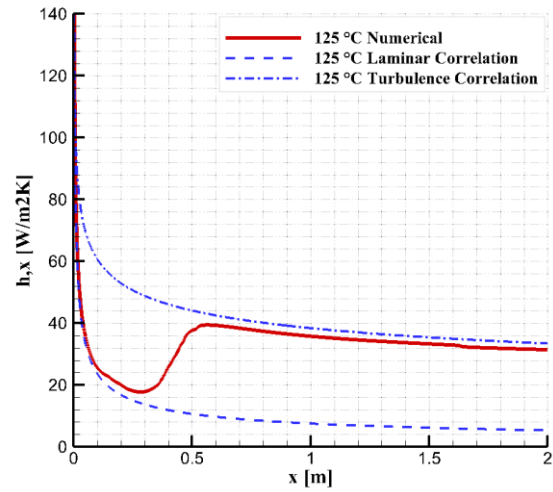
(a)



(b)

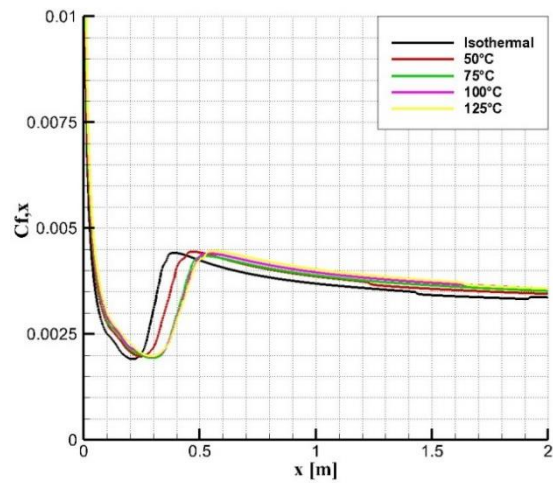


(c)



(d)

Figure 5. Variation of local heat transfer coefficients in streamwise direction at different surface temperatures.



(a)

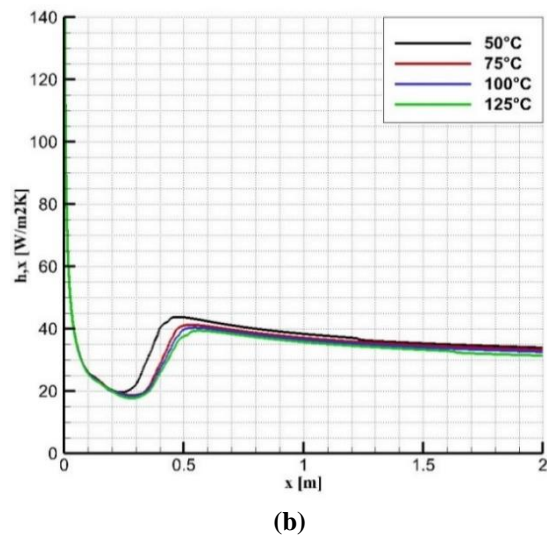


Figure 6. Local skin friction coefficient and local heat transfer coefficient variation for different surface temperatures.

Figure 6. demonstrates how the transition location of the boundary layer flow is influenced by active flow control if constant surface temperature is applied. Increasing the plate's surface temperature delays transition, since local Re decreases with increasing dynamic viscosity. In addition to that, local skin friction coefficients in the turbulent region increases which results in a higher overall skin friction coefficient at high temperatures. Transition delay also affects local heat transfer coefficients. Contrary to the local skin friction coefficient, local heat transfer coefficients tend to decrease in the turbulent region yielding lower overall heat transfer coefficients at high temperatures.

IV. CONCLUSION

In this study, flow and forced convection over a flat plate is investigated with ANSYS-Fluent and numerical results are verified by theoretical correlations in literature. It is shown that CFD is an important tool to predict transition behavior inside the boundary layer flow. In the laminar and fully turbulent regions, local skin friction and heat transfer coefficients are found to be in agreement with the correlations. It is shown that increasing surface temperature of the plate as an active flow control method is effective in transition delay. Finally, active flow control method causes an increased overall skin friction coefficient and decreased heat transfer coefficient in the turbulent region if high surface temperatures are applied.

NOMENCLATURE

C_f	Skin friction coefficient [-]
c_p	Specific heat [J/kgK]
E	Internal energy [J/kg]
h	Heat transfer coefficient [W/m ² K]
I	Turbulence Intensity [%]
k	Thermal conductivity [W/mK]
k	Turbulence kinetic energy [m ² /s ²]

L	Length of the plate [m]
Nu	Nusselt number [-]
Pr	Prandtl number [-]
Re	Reynolds number [-]
S_h	Heat source [W/m ³]
T	Temperature [°C]
t	Time [s]
u	x-velocity component [m/s]
v	y-velocity component [m/s]
x	Streamwise direction
y	Wall normal direction
Greeks	
μ	Dynamic viscosity [kg/ms]
ν	Kinematic Viscosity [m ² /s]
ρ	Density [kg/m ³]
τ	Shear stress [Pa]
ω	Specific dissipation rate of turbulence [1/s]

Abbreviations:

CFD	Computational Fluid Dynamics
SST	Shear Stress Transport

Subscripts:

c	Critical
f	Film zone
lam	Laminar
tur	Turbulent
s	Surface
∞	Free stream

REFERENCES

- [1] Akansu Y.E., Ozmert M. and Firat E., (2011). The Effect of Attack Angle to Vortex Shedding Phenomenon of Flow Around a Square Prism With a Flow Control Rod, *J. of Thermal Science and Technology*, 31, 1, 109-120.
- [2] Jahanmari M., (2010). Active Flow Control: A Review, Division of Fluid Dynamics, Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- [3] Newman, B. G., & Lachmann, G. V. (1961). Boundary layer and flow control. The Deflection of Plane Jets by Adjacent Boundary Layers—Coanda Effect, GV Lachman, ed., Pergamon Press, New York, 232-251..
- [4] Gad el Hak M., (2000). Flow Control: Active, Passive and Reactive Flow Management, Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529535>.
- [5] Liepmann, H. W., Nosenchuck, D. M., (1982). Active Control of Laminar-Turbulent Transition, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 118, pp. 201–204.
- [6] Dovgal A.V., Levchenko V.Y.A. and Timofeev V.A., (1989). Boundary Layer Control by a Local Heating of the Wall, IUTAM Symposium on Laminar-Turbulent Transition, Toulouse, France.
- [7] Canbolat G., Yildizeli A., Kose H.A., Cadirci S., (2018). Numerical Investigation of Transitional Flow over a Flat Plate under Constant Heat Fluxes, 6th International Symposium on

-
- Innovative Technologies in Engineering and Science 09-11 November 2018 (ISITES2018 Alanya – Antalya - Turkey).
- [8] Subası A., Gunes H., (2015). Effect of wall heating on boundary layer transition over a flat plate, *J. of Thermal Science and Technology*.
- [9] Atmaca, M., Çetin, B., & Yılmaz, E. (2019). CFD analysis of unmanned aerial vehicles (UAV) moving in flocks. *Acta Phys. Pol. A*, 135(4), 694.
- [10] Atmaca, M. (2019). Wind Tunnel Experiments and CFD Simulations for Gable-Roof Buildings with Different Roof Slopes. *Acta Physica Polonica, A.*, 135(4).
- [11] Incropera, F. P., Lavine, A. S., Bergman, T. L., & DeWitt, D. P. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer*. Wiley.
- [12] *Turbulence Modelling, Introduction to ANSYS Fluent Tutorials*.
- [13] F. R. Menter, R. B. Langtry, S. R. Likki, Y. B. Suzen, P. G. Huang, and S. Volker., (2004). A Correlation-Based Transition Model Using Local Variables: Part I — Model Formulation, ASME-GT2004-53452

Evaluation of High Concentrations of Sugar Beet Molasses as Substrate for Hydrogen and 5-Aminolevulinic Acid Productions

Yüksek Miktarlarda Şeker Pancarı Melasının Hidrojen ve 5-Aminolevulinik Asit Üretimi için Substrat Olarak Değerlendirilmesi

Gökhan KARS¹ , Ümmühan ALPARSLAN² 

¹ Necmettin Erbakan University, Department of Molecular Biology and Genetics, 42090, Konya, Turkey

² Selçuk University, Department of Biology, 42130, Konya, Turkey

Abstract

Sugar beet molasses is a valuable raw material and it contains high amount of sugar especially sucrose. Therefore, it could be used as substrate for the generation of highly valuable chemicals by microorganisms. Here, considerably high concentrations of molasses were tested for the first time to investigate if they could enhance the growth of *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001 and generations of hydrogen and 5-aminolevulinic acid (5-ALA). Firstly, five distinct growth cultures having sugar contents of 34 g/L, 41 g/L, 48 g/L, 55 g/L and 61 g/L were made ready using molasses. Then, in batch processes, bacterial growth and generations of hydrogen and 5-ALA were investigated in these media. As a result, the highest cell growth (OD₆₆₀: 9.26, 4.54 g cdw/L) to date was achieved in 34 g/L sugar containing medium. Similarly, the highest quantity of 5-ALA (37.44 mM) to date was attained in the same growth culture. In addition to these significant improvements, at maximum 21.02 mL (0.42 L H₂/L) of hydrogen was collected from 34 g/L sugar containing medium. To conclude, using a sugar concentration of 34 g/L yielded the highest bacterial growth and 5-ALA generation so far. And, it also supported the generation of considerable amount of hydrogen.

Keywords: 5-aminolevulinic acid, hydrogen, molasses, *Rhodobacter sphaeroides*

Öz

Şeker pancarı melası değerli bir hammadde ve sükröz başta olmak üzere yüksek miktarda şeker içerir. Bu nedenle, mikroorganizmalar tarafından son derece değerli kimyasalların üretimi için substrat olarak kullanılabilir. Bu çalışmada, *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001'in çoğalması ile hidrojen ve 5-aminolevulinik asit (5-ALA) üretimlerini artırıp arttırmadıklarını araştırmak için ilk kez oldukça yüksek melas konsantrasyonları test edilmiştir. İlk önce, şeker içeriği 34 g/L, 41 g/L, 48 g/L, 55 g/L ve 61 g/L olan beş farklı ortam, melas kullanılarak hazırlandı. Daha sonra, kesikli süreçlerle, bu ortamlarda bakteri çoğalması ile hidrojen ve 5-ALA üretimleri incelenmiştir. Sonuç olarak, bugüne kadarki en yüksek hücre çoğalması (OD₆₆₀: 9.26, 4.54 g cdw/L), 34 g/L şeker içeren ortamda elde edildi. Benzer şekilde, aynı çoğalma kültüründe bugüne kadarki en yüksek miktarda 5-ALA (37.44 mM) elde edildi. Bu önemli gelişmelere ek olarak, 34 g/L şeker içeren ortamdan maksimum 21.02 mL (0.42 L H₂/L) hidrojen toplanmıştır. Sonuç olarak, 34 g/L'lik bir şeker konsantrasyonunun kullanılması, şimdiki kadarki en yüksek bakteri üremesini ve 5-ALA oluşumunu sağladı. Ayrıca, önemli miktarda hidrojen üretimini de destekledi.

Anahtar Kelimeler: 5-aminolevulinik asit, hidrojen, melas, *Rhodobacter sphaeroides*

I. INTRODUCTION

The generation of highly valuable chemicals together with biofuels through valorization of biomass and waste products is among the trending topics in the scientific fields of study. This approach is termed as "biorefinery concept" [1]. One of the driving forces behind this approach is the transition from petroleum derived fuel and chemical generation to renewable biomass-based fuel and chemical production. In this way, cost-efficient and sustainable processes will be developed. These processes will also help to develop healthier and environmentally friendly fuels and chemicals. The use of lignocellulosic residues and waste streams ensures the settlement of bio-based and circular economy in each country. Therefore, for the countries to be self-sufficient, sustainable processes through which value-added chemicals and fuels are generated from local feedstocks need to be developed. The three pillars of the biorefinery approach could be counted as feedstock, products and conversion process. Regarding the feedstock, a broad spectrum of raw materials can be utilized for the generation of high value-added chemicals and fuels [1-3]. In a broader sense, the starting raw material could be divided into two main categories as being lignocellulosic and non-lignocellulosic feedstocks. Lignocellulosic raw materials come from mainly the

Corresponding Author: Gökhan KARS, Tel: +903323238220 / 5961, e-mail: gkars@erbakan.edu.tr

Submitted: 15.11.2019, **Revised:** 06.06.2020, **Accepted:** 08.08.2020

forest and agricultural plants and their residues while non-lignocellulosic feedstocks come out as a result of industrial processes. The lignocellulosic raw materials and waste streams could be converted into chemicals and fuels either by thermo-chemical or biological ways [1]. Thermo-chemical conversion of biomass into high value-added products and fuels generally requires stringent conditions; however, biological conversion processes operate at moderate conditions [4-6]. In case of biological generation of chemicals and bio-fuels, the raw material should be first pretreated to make it usable for the microorganisms. And, the media prepared with pre-treated feedstock should be free from any toxic chemicals which might inhibit growth and biochemical generation of chemicals and fuels.

Hydrogen, butanol, biodiesel, ethanol and methane could be generated as fuels in the context of biorefinery approach [6,7]. The production of these fuels contributes to the energy diversification and it also partially meets the increased energy demand of the country. Therefore, these potential benefits promote the alternative and sustainable energy research. Among them, hydrogen could be considered as both sustainable energy source and valuable chemical. Molecular hydrogen cannot be found in nature freely but rather it is produced through thermo-chemical and biological ways [4]. Thermo-chemical hydrogen production processes include biomass pyrolysis and biomass gasification and occur at very high temperatures (400-1000 °C) [8]. However, the biological hydrogen production processes operate at much lower temperatures (28-70 °C). The amount of hydrogen that could be generated by biological systems is still below practical applications; therefore, hydrogen production studies carry on to enhance amount and cost efficiency through biological and process optimization studies. Nevertheless, purple non-sulphur (PNS) bacteria such as *Rhodobacter sphaeroides* are promising candidates for hydrogen generations and substantial amounts of hydrogen were achieved so far [9].

The most powerful aspect of the biorefinery approach is the capability of producing several high value-added products like polyhydroxyalkanoates (PHAs), furans (5-hydroxymethylfurfural, HMF, and furfural), succinic acid and levulinic acid (LA) [1,6,10]. Among others, hydroxymethylfurfural (HMF) and levulinic acid (LA) could be used as the monomer for the fabrication of many industrially significant chemicals like pharmaceuticals. The generation of such valuable chemicals from forest and agro-industrial resources in processes with low environmental impact will certainly promote biorefinery studies. 5-aminolevulinic acid (5-ALA) is one of the target chemicals to be produced in biorefinery approach [11] though chemical synthesis is also available [12]. It is a versatile chemical that can be used in several medical and biotechnological applications and it takes special attention due to its use as a photosensitizer substance in photodynamic therapy

[13]. The biological formation of 5-ALA occurs by either C-4 pathway (Shemin pathway) using succinyl-CoA and glycine or C-5 pathway using glutamate [13]. In anaerobic photosynthetic bacteria such as *R. sphaeroides*, 5-ALA biosynthesis occurs through C4 pathway in which glycine and succinyl CoA are converted into 5-ALA by ALA synthase enzyme and as much as 27.5 mM of 5-ALA was obtained [13]. The capability of *R. sphaeroides* to produce 5-ALA and hydrogen from various biomass resources could make it a robust and sustainable cell factory in biorefinery studies.

Aforementioned discussions imply that there is a trend for shifting from petroleum-based fuels and chemicals to more green production technologies. The biomass resources play a key role in setting of such processes. Therefore, significant efforts are being made to find out sustainable feedstocks to be used in the productions of fuels and chemicals. As a part of these efforts, sugar beet molasses has been utilized as feedstock for several years in our studies to produce high value-added products [14]. Molasses is the product of sugar refining process and contains up to 50 % (w/w) sucrose in addition to many organic acids and elements [14]. In Turkey, 996000 tons of sugar beet molasses were produced in 2018 [15]. Therefore, it stands as a sustainable substrate in bioprocesses. In the current work, molasses obtained from sugar beet was utilized as feedstock for *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001 to generate hydrogen and 5-ALA. In our previous study [14], the highest tested sugar quantity was just 28 g/L; however, in the present study, much higher concentrations (up to 61 g/L) were tested. As a result, the maximum amount of evolved hydrogen (0.62 L H₂/L culture) was declined but significantly higher amounts of cell growth (OD₆₆₀: 9.26) and 5-ALA (37.44 mM) were achieved. In the current studies, saturation points above which no further improvements in bacterial growth, hydrogen and 5-ALA productions were observed upon addition of molasses were determined. In other words, the upper limits of sugar beet molasses concentration that could efficiently be used by *R. sphaeroides* for growth and generations of hydrogen and 5-ALA were revealed.

II. MATERIALS AND METHODS

2.1. Culture Compositions

Rhodobacter sphaeroides O.U. 001 (DSM number: 5864) which is a photosynthetic purple non-sulfur bacterium was used in the present work. It is a versatile bacterium which could act as a robust cell factory for the formation of hydrogen and 5-ALA. As a raw material, sugar beet molasses was used. It is the byproduct of sugar beet processing plants and it has high sucrose content (50 % w/w) in addition to various organic acids (malic, succinic, fumaric, lactic, acetic, propionic and formic acid) and elements (K, Na, Mg, Ca, Al, Zn, Cu, Ni, Co, Mn, Cr and B) [14]. Due to its

rich content, it is expected to support both cell proliferation and generation of valuable metabolites. In the present work, the aim was to test the higher concentrations of molasses and to observe the upper limits of molasses concentrations. In this context, the sugar concentrations in the growth media were adjusted as 34 g/L, 41 g/L, 48 g/L, 55 g/L and 61 g/L knowing that the sucrose content of beet molasses was circa 50 % (w/w). The media were named according to their sugar contents and used as such throughout the study. Before preparation of these media, the molasses was diluted and centrifuged at 8500 rpm for 10 min. to get rid of insoluble materials. *R. sphaeroides* O.U. 001 is ordinarily maintained in Biebl and Pfennig minimal medium [16] where glutamate and malate were utilized as sources of nitrogen and carbon, respectively. Here, instead of malate, the sucrose in molasses was utilized as a source of carbon but 2 mM of glutamate was again included in the cultures as a nitrogen source. CaCl₂·2H₂O (0.025 g/L) and MgSO₄·7H₂O (0.2 g/L) were included in the media as major elements while KH₂PO₄ (0.5 g/L) was used as buffer. FeSO₄ (2 g/L), Na₂MoO₄·2H₂O (0.2 g/L) and vitamins which were Niacin (0.5 g/L), Thiamine (0.5 g/L) and Biotin (0.015 g/L) were added into the cultures at given concentrations. It was stated that supplementation of levulinic acid (LA) enhanced the extracellular accumulation of 5-ALA [13,17]; therefore, 15 mM of levulinic acid (LA) was also included in the growth culture as suggested. To prevent the LA addition from interfering with the generation of hydrogen and bacterial growth, limited quantities of LA was supplemented towards the termination of exponential growth stage. Additional trace elements were not added since molasses already contained sufficient amount of these elements.

2.2. Culture Conditions

Hydrogen generation by *R. sphaeroides* O.U. 001 occurs only in anoxic environments in the presence of light [18]. 5-ALA production takes place under same conditions as well. Therefore, the experimental setup established here was suitable for the generation of both products. In this way, a cost-effective process was obtained. The anoxic environment in 55 mL glass bioreactors was ensured by flushing argon gas for 3 min. while the light energy (3 klux) was supplied from incandescent bulbs (100 W). Furthermore, the back of the photobioreactors were coated with aluminum foil so that the light beams were benefited more. The cultures were maintained at 29 °C without shaking because *R. sphaeroides* O.U. 001 can move by the help of its flagella. Having no need for agitation is another property of the process that increases the cost-effectiveness of the process.

2.3. Analytical Techniques and Measurements

In the case of using biomass and waste streams as substrate, it is of great importance for them to be pretreated so that they become suitable for the growth

of bacteria. Therefore, the feed should be analyzed in terms of several parameters which influence the hydrogen and 5-ALA generations by bacteria. The first consideration is the presence and amount of ammonia excess of which inhibits nitrogenase enzyme and thus preventing hydrogen generation [19]. Sugar beet molasses was previously shown to contain 32.57 mM of ammonium [14] and the quantity of ammonium in the media (34 g/L, 41 g/L, 48 g/L, 55 g/L and 61 g/L) was calculated considering this information. The second consideration is the total amount of phenolic substances in the molasses since excess of it might have toxic effects on cells. The phenolics were already quantified in terms of gallic acid equivalent (GAE) and found as 13.36 mg GAE/g molasses in a previous study [14]. And, its amount in each medium was calculated accordingly. Another consideration is light transmittance of the media which were prepared using dark colored molasses. *R. sphaeroides* O.U. 001 is photosynthetic bacterium and generations of hydrogen and 5-ALA are light dependent events. Therefore, the light beams should successfully penetrate the culture and reach to the cells effectively. Taking into account these issues, the light transmittance of each medium was measured with a spectrophotometer (Biochrom Libra S22, UK) at different wavelengths (860, 800 and 522 nm). The wavelengths were opted on the basis of a fact that the light is absorbed by bacteriochlorophylls and carotenoids in *R. sphaeroides* O.U.001 and they have maximum absorptions at around these wavelengths [20].

Five different growth cultures possessing varying quantities of sugar (34, 41, 48, 55 and 61 g/L) were prepared in a total volume of 45 mL in bioreactors. After inoculating each of these media by 10 % fresh culture, they were incubated under the conditions mentioned above. Several measurements (pH, OD, hydrogen) were done throughout the process whereas the amount of 5-ALA was quantified at the end of the process. The optical density (OD) measurements of the cultures was performed using a spectrophotometer (Biochrom Libra S22, UK). At certain time intervals, samples were taken from the cultures and OD values were measured at 660 nm after making appropriate dilutions. The exact OD values of the cultures were calculated by multiplying the measurements by the dilution factors. Then, the growth curves were constructed using these data. Depending on the type of substrate, various metabolites might come out and these byproducts could significantly alter the pH of the medium. As a result, these drastic pH changes could negatively affect the hydrogen production performance of the bacteria. For this reason, though the pH of the cultures was buffered to 6.8 at the beginning, pH variations in the media were followed throughout the process and pH graph for each culture was drawn.

The emerged hydrogen gas was gathered in water-filled graduated tubes using pipes and quantity of hydrogen

was recorded throughout the process until cessation of hydrogen generation. The purity analysis of agglomerated gas was performed by a gas chromatography (Shimadzu GC-2010 Plus, Japan) which was equipped with an Rt[®]-Msieve 5A column and a thermal conductivity detector. The specific conditions for GC were explained in detail in a previous study [14]. After termination of the process, the extracellular quantity of 5-ALA was measured with a colorimetric method which rely on the formation of reddish-purple color upon addition of Ehrlich's reagent and measurement of the resulting color intensity with a spectrophotometer at 533nm [21]. In the protocol, first of all, each of the five culture liquids were centrifuged and filtered to eliminate cells and cell debris. Then, clear filtrate was frozen at -80°C overnight and then freeze-dried in a lyophilizator (ScanVac CoolSafe 110-4 Pro) at -111 °C under 0.009 mbar pressures for 2 days. The freeze-dried samples were re-dissolved and used in the measurements. At first, a calibration curve was drawn with known quantities of 5-ALA and later certain amount of samples was taken from the unknown samples and processed like the standard samples. After formation of colors, the spectrophotometric measurements at 533 nm were done and the concentrations were determined through interpolation on the standard curve.

2.4. Statistical Analysis

pH of the media, turbidity of the cultures and amount of evolved hydrogen were followed and recorded at certain time intervals. In order to calculate standard deviations, the experiments were done in duplicate. The error bars were depicted in the graphs.

III. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Bacterial Growth and pH Changes in Cultures

Although, various concentrations of sugar beet molasses were used in a previous study [14], such high concentrations were tested for the first time for *R. sphaeroides* O.U.001. Specifically, upper limits of the molasses' concentrations were determined in this study. In this context, five distinct media with varying amount of sucrose (34, 41, 48, 55 and 61 g/L) were prepared for growth and formations of hydrogen and 5-ALA. Since each medium was prepared using different amount of molasses, they are unique in terms of their sugar, ammonium and total phenol contents in addition to light transmitting property. In the present study, the quantities ammonium and total phenol were calculated based on the previous findings [14] and depicted in Table 1. The light transmission of each medium at given wavelengths was also measured as percent transmission (% T) with a spectrophotometer and illustrated in the Table 1.

Table 1. Properties of growth cultures prepared by using sugar beet molasses

Medium	Ammonium content (mM)	Phenol content (mg GAE)	% T ₅₂₂	% T ₈₀₀	% T ₈₆₀
34 g/L	1.73	47.84	8	81.1	88
41 g/L	2.01	57.42	4.2	79.1	86.9
48 g/L	2.42	67.00	2.4	76.9	84.2
55 g/L	2.77	76.57	1.6	76.1	84
61 g/L	3.11	86.14	0.9	72.1	82.1

As a measure of cell growth, the OD values of the cultures were measured at certain time intervals and illustrated in Figure 1A. Each value in the graph represents the instant optical density measurement of the culture. The instant measurements continued until observing stationary phase of growth. As seen from the graph, the best growth was observed in 34 g/L medium where maximum absorbance value (OD₆₆₀: 9.26) was obtained. This absorbance value can be interpreted in terms of cell dry weight (cdw) as 4.54 g cdw/L culture knowing the fact that 1 OD value at 660 nm corresponds to 0.49 g cdw/L culture for *R. sphaeroides* O.U.001 [22]. In a previous study, the maximum absorbance was 8.3 (4.07 g cdw/L culture) which was attained in medium possessing 28 g/L sugar. Thus, the highest cell density to date was achieved in the current work utilizing sugar beet molasses as substrate. A further increase in sugar concentration above 34 g/L had a negative impact on cell growth. Specifically, as the concentration of sugar was raised, the cell density decreased. In order to prepare media with higher sugar concentrations, more sugar beet molasses was included in the media which in turn resulted in higher accumulation of other accompanying substances like ammonium, phenol, elements and other impurities. In this context, these issues should be taken into account to elucidate the negative impact of high molasses concentration. Firstly, high osmolarity due to high sugar concentrations might affect the cells adversely. Secondly, the quantity of phenolic substances in these media might reach to toxic levels so that cells might be influenced negatively. In other words, high phenol content might interfere with the overall cellular metabolism. Finally, high amounts of elements and other accompanying chemicals in sugar beet molasses might have negative impact on growth of the bacteria.

Although the pH of the growth cultures was fixed to 7 initially, considerable variations occurred during the process as demonstrated in Figure 1B. All of the cultures showed similar trend in that the pH first climbed up to 9 and then declined back to 7. However, it is obvious from the growth curve that this pH alteration did not interfere with the growth. A very similar pH profile was also observed in case of using relatively lower sugar concentrations [14]. It can be

deduced from these results that upon utilization of sugar beet molasses, basic molecules or by-products were produced and they caused an increase in pH of the culture. In the case of using waste barley as feedstock, a different pH profile was attained [11,23] such that the pH of the cultures first dropped below 7 and then climbed back to 7. From these results, it is also confirmed that the type of carbon source and thus the type of metabolism has a determinative effect on the pH. Further metabolomic studies might help to reveal the types of metabolites which results in such pH changes.

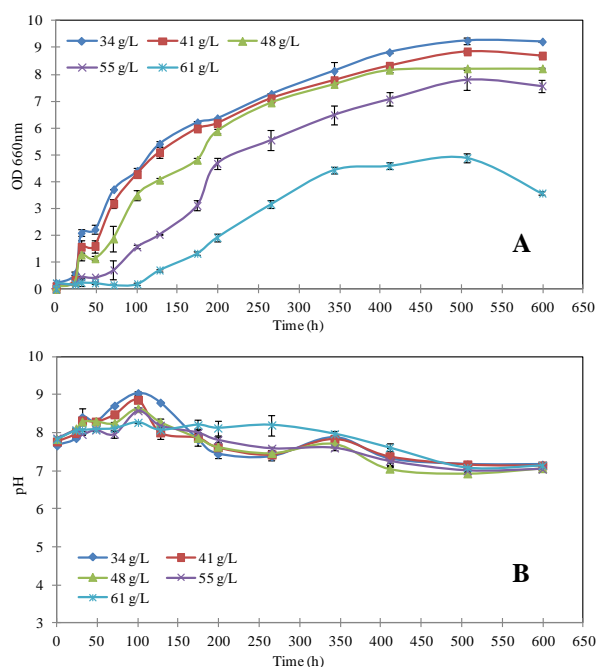


Figure 1. The growth (A) and pH (B) changes in cultures with distinct sugar concentrations

3.2. Hydrogen Accumulations in Cultures

Hydrogen evolution was recorded in five distinct growth media (34, 41, 48, 55 and 61 g/L) throughout process and illustrated in Figure 2. After GC analyses, it was realized that the percentage of pure hydrogen was circa 70 % in the collected gas samples. And, the amounts of pure hydrogen were used in the course of plotting hydrogen accumulation curves. The hydrogen production yields were also calculated and expressed as mg H₂/g sugar. In calculations, only the sugar (sucrose) was taken into account and contribution of glutamate was ignored. The highest amount of hydrogen (21.02 mL, 0.42 L H₂/L culture, 0.99 mg H₂/g sugar) was recorded in case of using 34 g/L sugar concentration. In addition, 18.87 mL (0.38 L H₂/L culture, 0.74 mg H₂/g sugar), 12.92 mL (0.26 L H₂/L culture, 0.44 mg H₂/g sugar), 9.84 mL (0.20 L H₂/L culture, 0.29 mg H₂/g sugar) and 9.23 mL (0.19 L H₂/L culture, 0.24 mg H₂/g sugar) of hydrogen was obtained in 41, 48, 55 and 61 g/L sugar-containing cultures, respectively. In a previous study where 28 g/L sugar concentration was used, 1.01 L H₂/L culture was achieved [14]. When these two studies were compared, it can be concluded

that 28 g/L is the most suitable concentration for hydrogen production. And, it was realized that above 28 g/L, increasing sugar (molasses) concentration led to decreased hydrogen accumulation. Putting more sugar (molasses) above 28 g/L obviously exerted a negative effect on hydrogen generation. This result might be explained in several ways by taking into account the culture compositions. First consideration is related with the ammonium concentration. It is of special importance since ammonium suppresses the nitrogenase enzyme especially above 2 mM and thus leading to decreased hydrogen evolution [19]. In some of the cultures (48, 55 and 61 g/L), ammonium content was found to be considerably higher than this critical level so this might be the reason for reduction in the hydrogen generation. Second issue is related with the total phenol content of the media. As demonstrated in Table 1, substantial amounts of phenolic substances are present in the media; therefore, these phenolics might exert toxic effect on nitrogenase enzyme. Or, in an indirect way, the phenolic substances might interfere with the reducing power of the cell thus leading to lessened hydrogen generation. The third consideration is the light transmission capacity of the media. The percent transmission values of the media were measured and shown in Table 1. A drastic decrement in the light transmittance of the media was especially noticed at visible wavelength (522 nm). Moreover, considerable amounts of decline in the transmittance of infrared light (800 and 860 nm) were noticed as well. It is a fact that light as an energy source possesses a significant impact on hydrogen production [20]. Since the access of cells to the light was substantially diminished, hydrogen evolution capacity of the cells was lessened accordingly. Although several intrinsic factors resulted in lowered hydrogen accumulations, the quantity of hydrogen (0.42 L H₂/L culture) achieved in this study is still higher than the amount (0.29 L H₂/L) obtained when sugar (6 g/L) obtained from waste barley was used as substrate. Moreover, beet molasses has a rich content such that it contains several elements (K, Na, Mg, Ca, Al, Zn, Cu, Ni, Co, Mn, Cr and B) and organic acids (malic, succinic, fumaric, lactic, acetic, propionic and formic acid) which might have positive influence on growth and hydrogen production [14]. Therefore, sugar beet molasses definitely has potential and value to be used as substrate for the generation of hydrogen and other valuable products.

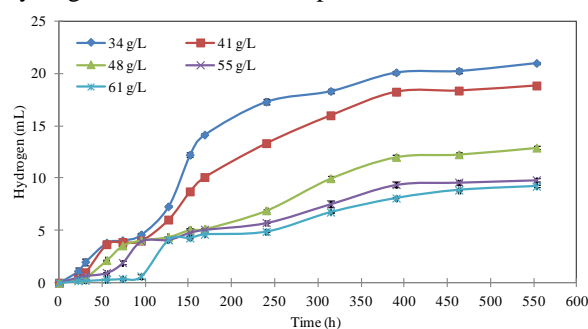


Figure 2. The amounts of pure hydrogen obtained from the cultures with various sugar contents

3.3. 5-Aminolevulinic Acid Productions

The conditions for hydrogen and 5-ALA generations are almost the same. The only distinct attempt to enhance extracellular 5-ALA formation was LA addition into the cultures toward the end of exponential stage of growth. With this approach, a cost-effective bioprocess could be achieved by generating both hydrogen and 5-ALA in the same bioprocess. After the end of the bioprocess, the cultures were first clarified from cells and any suspended solids by centrifugation and filtration. Then, 5-ALA in each purified culture was quantified. The yields for 5-ALA productions were also calculated and expressed as g 5-ALA/g sugar. Sucrose was considered as sole carbon source and contributions of glutamate and LA were ignored during calculations. The maximum amount of 5-ALA (37.44 mM, 0.143 g 5-ALA/g sugar) was observed in the culture with a sugar concentration of 34 g/L. In addition, 34.45 mM (0.109 g 5-ALA/g sugar), 12.04 mM (0.033 g 5-ALA/g sugar), 11.29 mM (0.027 g 5-ALA/g sugar) and 11.29 mM (0.024 g 5-ALA/g sugar) of 5-ALA was attained in 41, 48, 55 and 61 g/L sugar-containing cultures, respectively. It was noticed that the augmentation of sugar concentration (molasses) above 34 g/L influenced the 5-ALA generation negatively. The above-mentioned arguments for the inhibitory effect of the high molasses concentration (above 34 g/L) can also be counted for the case of 5-ALA production. Especially, high phenol content and low light transmittance of the media might have substantial impact on 5-ALA generation. In order to compare these results with the previous findings, various examples for 5-ALA production were itemized in Table 2. As seen from the Table 2, the highest amount of 5-ALA generation (37.44 mM) to date was achieved in the present study using molasses sugar at a concentration of 34 g/L. Taking into account the results in Table, it can be declared that beet molasses is a promising carbon source for *R. sphaeroides* O.U.001 for 5-ALA production.

Table 2. 5-ALA generation by various strains of *R. sphaeroides* at distinct culture conditions

Strain	Substrate	5-ALA (mM)	Reference
O.U.001	Molasses sugar	37.44	This study
O.U.001	Molasses sugar	23.34	[14]
O.U.001	Waste barley	0.067	[11]
CR-720	Glucose and glycine	27.50	[24]
IFO 12203	Volatile fatty acids	16.00	[25]

IV. CONCLUSIONS

In the present study, substantially high amounts of sugar beet molasses were utilized as carbon source to support bacterial growth and generate hydrogen and 5-ALA. In this way, upper limits of sugar concentrations were investigated for the first time. Several conclusions

could be drawn from the present study. First, when used as a substrate, sugar beet molasses significantly supported the growth of the bacteria, thereby yielding the highest amount of cell mass (4.54 g cdw/L culture) to date. Even, the molasses could be used for the purpose of obtaining high bacterial cell mass only. On the other hand, compared to previous studies where lower quantities of sugar beet molasses were used, less amount of hydrogen (0.42 L H₂/L culture) was achieved. So, it can be concluded that sugar concentrations equal to or higher than 34 g/L have negative impact on hydrogen production. As a final conclusion, it could be claimed that higher quantities of molasses sugar up to 34 g/L enhance the generation of 5-ALA, remarkably. Specifically, in the current study, the highest amount of 5-ALA to date (37.44 mM) was achieved in 34 g/L sugar containing culture. To sum up, a molasses derived sugar concentration of 34 g/L is the best for the highest bacterial growth and 5-ALA generation. In addition to these, considerable amounts of hydrogen were also achieved at the same time thereby increasing the overall efficiency of the bioprocess.

ACKNOWLEDGMENT

The study was supported by Selçuk University with the project number BAP-11401112.

REFERENCES

- [1] Menon, V. and Rao, M. (2012). Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. *Prog. Energ. Combust.*, 38, 522-550.
- [2] Genç, N. (2011). Evaluation of biohydrogen production potential of wastes. *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, 17(2), 63-77.
- [3] Argun, H., Gökfiliz, P. and Karapinar, I. (2017). Biohydrogen production potential of different biomass sources. In A. Singh and D. Rathore (Eds.), *Biohydrogen production: Sustainability of current technology and future perspective* (pp. 11-48). New Delhi: Springer.
- [4] Şentürk, İ. G. and Büyükgüngör, H. (2010). An examination of used different waste materials and biohydrogen production methods. *Sigma*, 28, 369-395.
- [5] Wettstein, S. G., Alonso, D. M., Gürbüz, E. I. and Dumesic, J. A. (2012). A roadmap for conversion of lignocellulosic biomass to chemicals and fuels. *Curr. Opin. Chem. Eng.*, 1, 218-224.
- [6] Ahmad, F. B., Zhang, Z., Doherty, W. O. S. and O'Hara, I. M. (2019). The outlook of the production of advanced fuels and chemicals from integrated oil palm biomass biorefinery. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 109, 386-411.
- [7] Westermann, P., Jorgensen, B., Lange, L., Ahring, B. K. and Christensen, C. H. (2007). Maximizing renewable hydrogen production from biomass in a

- bio/catalytic refinery. *Int. J. Hydrogen Energy*, 32, 4135-4141.
- [8] Ni, M., Leung, D. Y. C., Leung, M. K. H. and Sumathy, K. (2006). An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Process. Technol.*, 87, 461-472.
- [9] Kars, G., Gündüz, U., Rakhely, G., Yücel, M., Eroğlu, İ. and Kovacs, K. L. (2008). Improved hydrogen production by hydrogenase deficient mutant strain of *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001. *Int. J. Hydrogen Energy*, 33(12), 3056-3060.
- [10] Heo, J. B., Lee, Y. S. and Chung, C. H. (2019). Raw plant-based biorefinery: A new paradigm shift towards biotechnological approach to sustainable manufacturing of HMF. *Biotechnol. Adv.*, 37(8), 107422.
- [11] Kars, G. and Ceylan, A. (2013). Biohydrogen and 5-aminolevulinic acid production from waste barley by *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001 in a biorefinery concept. *Int. J. Hydrogen Energy*, 38, 5573-5579.
- [12] Kang, M. S., Kim, D. M., Kim, J. S. and Jeong, J. H. (2005). Synthesis of 5-aminolevulinic acid (ALA) and its t-butyl ester for the fluorescence detection of early cancer. *Arch. Pharm. Res.*, 28(10), 1111-1113.
- [13] Sasaki, K., Watanabe, M., Tanaka, T. and Tanaka, T. (2002). Biosynthesis, biotechnological production and applications of 5-aminolevulinic acid. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 58, 23-29.
- [14] Kars, G. and Alparslan, Ü. (2013). Valorization of sugar beet molasses for the production of biohydrogen and 5-aminolevulinic acid by *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001 in a biorefinery concept. *Int. J. Hydrogen Energy*, 38, 14488-14494.
- [15] Taşkın, M. and Alkan, M. (2019). *Sector report-2018*. Ankara: Turkey Sugar Factories. https://www.turkseker.gov.tr/data/dokumanlar/2018_Sektor_Raporu.pdf
- [16] Biebl, H. and Pfennig, N. (1981). Isolation of member of the family *Rhodospirillaceae*. In M. P. Starr, H. Stolp, H. G. Trüper, A. Balows and H. G. Schlegel (Eds.), *The prokaryotes* (pp. 267-273). New York: Springer.
- [17] Sasaki, K., Tanaka, T., Nishizawa, Y. and Hayashi, M. (1990). Production of a herbicide, 5-aminolevulinic acid, by *Rhodobacter sphaeroides* using the effluent waste from an anaerobic digester. *Appl. Microbiol. Biot.*, 32, 727-731.
- [18] Kars, G. and Gündüz, U. (2010). Towards a super H₂ producer: Improvements in photofermentative biohydrogen production by genetic manipulations. *Int. J. Hydrogen Energy*, 35, 6646-6656.
- [19] Akköse, S., Gündüz, U., Yücel, M. and Eroğlu, İ. (2009). Effects of ammonium ion, acetate, and aerobic conditions on hydrogen production and expression levels of nitrogenase genes in *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001. *Int. J. Hydrogen Energy*, 34, 8818-8827.
- [20] Uyar, B., Eroğlu, İ., Yücel, M., Gündüz, U. and Türker, L. (2007). Effect of light intensity, wavelength and illumination protocol on hydrogen production in photobioreactors. *Int. J. Hydrogen Energy*, 32(18), 4670-4677.
- [21] Mauzerall, D. and Granick, S. (1956). The occurrence and determination of d-aminolevulinic acid and porphobilinogen in urine. *J. Biol. Chem.*, 219, 435-446.
- [22] Waligorska, M., Seifert, K., Szymanska, K. and Łaniecki, M. (2006). Optimization of activation conditions of *Rhodobacter sphaeroides* in hydrogen generation process. *J. Appl. Microbiol.*, 101, 775-784.
- [23] Kars, G. and Emsen, A. (2019). Hydrogen generation by *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001 using pretreated waste barley. *Cumhuriyet Sci. J.*, 40(2), 414-423.
- [24] Kamiyama, H., Hotta, Y., Tanaka, T., Nishikawa, S. and Sasaki, K. (2000). Production of 5-aminolevulinic acid by a mutant strain of a photosynthetic bacterium. *Seibutsu Kagaku Kaishi*, 78, 48-55.
- [25] Sasaki, K., Tanaka, T., Nishizawa, Y. and Nagai, S. (1993). Effect of pH on the extracellular production of 5-aminolevulinic acid by *Rhodobacter sphaeroides* from volatile fatty acid. *Biotechnol. Lett.*, 15(8), 859-864.

Analysis and Evaluation of The Electromagnetic Field Pollution in Marmara University Başbüyük Campus Using Gas Discharge Visualization Tehnique According to Different Weather Conditions

Marmara Üniversitesi Başbüyük Kampüsü'ndeki Elektromanyetik Alan Kirliliğinin Farklı Hava Koşullarına Göre Gaz Boşalım Görselleştirmesi Tekniği Kullanılarak Analizi ve Değerlendirilmesi

İbrahim ÖZTÜRK¹ , Veysel Gökhan BÖCEKÇİ¹ , Aynur AKAR¹ 

¹Marmara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

Abstract

The continuous development of technology and, accordingly, people's interest in technological devices is increasing. Electric powered devices generate electricity and magnetic fields. The intensity of electric and magnetic fields is restricted by international organizations and limit values by Turkey's Information Technologies and Communication Authority (BTK). The values of the electromagnetic field generated by the base stations are monitored by the BTK. The limit values determined by the BTK are more stringent than those set by international organizations. The intensity of the electromagnetic field varies according to the distance and power to the system. In this study, electromagnetic field pollution in Marmara University Başbüyük Campus was analyzed periodically and according to different weather conditions. Measurements were performed at 19 different points and the results were mapped. SRM 3006 model selective radiation meter was used in the measurement. Measurement results were compared with international limit values and evaluated. The limit value determined by international organizations for the environment is 61 V/m and the limit value determined by BTK is 42 V/m. 12-day average electric field is 1.53 V/m for periodical measurements. The average electric field in sunny weather is 1.9 V/m, 1.28V/m in rainy weather and 1.39V/m in cloudy weather. Gas Discharge Visualization technique was used to observe the possible changes in the energy and stress situation of the different electromagnetic field points within the campus. Energy and stress measurement with this technique was performed with Bio-well device. According to the measurement results, no change in stress and energy status was observed.

Keywords: Electromagnetic field measurement, different weather conditions, gas discharge visualization technique, stress and energy

Öz

Teknolojinin sürekli gelişimine bağlı olarak insanların teknolojik cihazlara olan ilgileri artmaktadır. Elektrik ile çalışan cihazlar elektrik ve manyetik alan üretirler. Elektrik ve manyetik alan yoğunlukları uluslararası kuruluşlar ve Türkiye Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından sınırlanmaktadır. Baz istasyonları tarafından üretilen elektromanyetik alan değerleri BTK tarafından takip edilmektedir. Ayrıca BTK tarafından belirlenen sınır değerler uluslararası kuruluşlara göre daha katıdır. Elektromanyetik alanın yoğunluğu, sisteme olan mesafe ve gücüne göre değişmektedir. Bu çalışmada, Marmara Üniversitesi Başbüyük Kampüsü'ndeki elektromanyetik alan kirliliği periyodik olarak ve farklı hava koşullarına göre analiz edilmiştir. Ölçümler 19 farklı noktada yapılmıştır ve haritalandırılmıştır. Ölçümde SRM 3006 model selektif radyasyon ölçer cihazı kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları uluslararası limit değerlerle karşılaştırılmıştır ve değerlendirilmiştir. Uluslararası kuruluşlar tarafından ortam için belirlenen sınır değer 61 V/m, BTK tarafından belirlenen sınır değer ise 42 V/m'dir. 12 günlük periyodik ölçümlerin ortalama elektrik alan değeri 1,53 V/m'dir. Güneşli havalarda ortalama elektrik alan 1,9 V/m, yağışlı havalarda 1,28 V/m ve bulutlu havalarda 1,39 V/m'dir. Kampüs içindeki farklı elektromanyetik alan noktalarının enerji ve stres durumlarındaki olası değişikliklerini gözlemlemek için Gaz Boşalım Görselleştirmesi tekniği kullanılmıştır. Bio-well cihazı ile bu teknik kullanılarak stres ve enerji ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre stres ve enerji durumlarında herhangi bir farklılık gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik alan ölçümü, farklı hava koşulları, gaz boşalım görselleştirmesi tekniği, stres ve enerji

I. INTRODUCTION

Nowadays, with the progress of technology, the demand for new technological devices has increased. Electrical high-voltage lines, radio / television broadcasts, base stations, wireless modems, electrical appliances etc. systems create an electromagnetic field and this field varies according to the systems. The intensity of the electromagnetic fields varies depending on the signal strength and distance of the electrical devices.

Corresponding Author: İbrahim ÖZTÜRK, Tel: 0532 210 7699, e-mail: ibrahimozturk_1990@hotmail.com

Submitted: 25.11.2019, **Revised:** 16.07.2020, **Accepted:** 08.08.2020

Today's, mobile telecommunication systems have global high-speed accessibility technologies (audio, video, internet, etc.). Base stations are larger in city centers than in rural areas due to the need for capacity and quality of coverage. This requires more frequency and may cause more electromagnetic field pollution.

One of the main topics of electrical engineering is electromagnetic fields. Field is the spatial distribution of a physical quantity over time. Vector and scalar fields are divided into two. The magnitude and direction is defined as the vector field which depends on space and time [1-4].

The penetration of electromagnetic energy into matter is defined as electromagnetic radiation. Electromagnetic radiation is divided into two as ionizing and non-ionizing. Each wave in the electromagnetic spectrum has its own characteristics.

The effects of electromagnetic fields on human health vary according to the frequency ranges of ionized and non-ionized. Ionizing radiations, which include x-rays and gamma rays. These electromagnetic fields can damage DNA or cells directly. Non-ionizing radiations, which include static fields, magnetic fields from electric power lines, radio waves, microwaves, infrared radiation and visible light. These electromagnetic fields aren't known to damage DNA or cells directly [5,6].

In the extremely low frequency electromagnetic field exposure and restraint stress induce changes on the brain lipid profile of Wistar rats research aimed to evaluate the effect of chronic extremely low frequency electromagnetic field (ELF-EMF) exposure, restraint stress or both on lipid profile and lipid peroxidation in Wistar rat brain. Furthermore, chronic exposure to ELF-EMF is similar to physiological stress, and induce changes on brain lipid profile [7].

In the research by Samuel, examines effects of EMF of major electrical technologies including power lines and undersea cables, communication systems, solar power satellite, radar, high-powered broadcast transmitters, cellular phones. To summarize this study, The effects of EMFs produced by electrical devices are documented but the established effects are apparently of local and minor significance [8].

According to research by Marko, EMF's hazard and benefit is discussed on human life. Finally, therapeutic devices are engineered without consideration of biological properties. Therefore much work remains to be done in designing magnetotherapeutic devices [9].

Studies by Kıvrak EG. et al evaluated the exposure to EMF results in oxidative stress of the body. The aim of this study was to highlight the impact of oxidative stress on antioxidant systems [10].

According to research by Valberg, in the field of epidemiology has not been associated with health problems in people exposed to low-level electromagnetic field yet [11].

In the research by Keysan, electromagnetic pollution map of Balıkesir city center and Balıkesir University Çağış Campus was prepared and the results were evaluated. Measurement results were found to be below the limit values [12].

In the thesis study by Aktaş, the effect of the electromagnetic field on the employees of an electricity distribution company was analyzed and evaluated. According to the results of the survey, 60 migrants exposed to transformer-induced electromagnetic effects and 20 non-exposed persons differed only in terms of the incidence of migraine disease [13].

According to research by Callıalp and Seker, electromagnetic field pollution of a low frequency home and office environment was compared with ICNIRP limit values of the measurement results. As a result, it was seen that the calculated and measured values are close to each other [14].

In the research by Callıalp Kunter, Seker, Sürmeli and Cerezci, attenuation characteristics of 2G, 3G and 4G frequency bands has been investigated in different environments. Measurements were made in the open area and on different floors and rooms of a 5-storey building [15].

In our study, isotropic electric field measurements were made for the environment at 19 different points in the campus. Firstly, 12-day periodic measurements were performed. Then, measurements were made according to different weather conditions (sunny, cloudy and rainy). The measurement results were compared with the limit values determined by the International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) and BTK. In order to see the effect of electromagnetic field pollution on energy and stress, 11 days periodical measurements were carried out on campus by Gas Discharge Visualization technique. In addition, it is aimed to see the possible effect of mobile phone on human by this technique. There has been a different study by analyzing the electromagnetic field pollution measurements with GDV technique.

II. MATERIALS and METHODS

2.1 Methods

2.1.1. Locations

EMF measurement is planned at 19 different locations in Başbüyük campus of Marmara University. In the selection of 19 different places, the density of people in the campus was taken into consideration. Stress and energy status measurements were performed at two different points, high and low EMF levels.

2.1.2. Statistical analyses

EMF measurements are made with an isotropic antenna, it collects all the signals between 27 MHz and 3GHz. In measurements made with isotropic antenna; Total electric field strength E (V / m), each is the sum of the values taken from the direction. Environmental electricity in the measurements made to determine the field strength values; n. source Electric field strength (E_n) becomes. These equations are illustrated by the formulas (1) and (2) below [16].

$$|E| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (1)$$

$$|E| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2} \quad (2)$$

In the above formula, x, y and z show the axes of the signal. E indicates the intensity of the electric field. Stress and energy analysis is performed according to the ranges determined in the biowell device.

2.1.3. Limit values

The electrical field measurements will be compared by International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) and Turkey's Information Technologies and Communications Authority (BTK). The limit values determined by these institutions are shown in Table 1 and Table 2 below.

Table 1. ICNIRP reference levels for whole body exposure [17]

Frequency Range	E-field strength (V/m)
0,1-20 MHz	$560/f$
20-30 MHz	28
30-400 MHz	28
400-2000 MHz	$1,375f^{0,5}$
2-300 Ghz	—

Table 2. BTK reference levels for whole body exposure [18]

Frequency Range	E-field strength (V/m)
0,010-0,15 MHz	65,25
0,15-1 MHz	65,25
1-10 MHz	$65,25/f^{0,5}$
10-400 MHz	21
400-789 MHz	$1,03f^{0,5}$
789-2000 MHz	$0,96f^{0,5}$
2-94 Ghz	42,93

2.2. Materials

For electromagnetic field measurement, SRM-3006 model selective radiation meter was used. It shows the electromagnetic field intensity values at each frequency with the frequency selector feature of the device. SRM series devices have high resolution, stability, high dynamic, wide frequency spectrum and high measurement accuracy. The measurement results are stored on the memory card in the device and the data is transferred to the desired computer environment via the output port. The device can measure up to 6 GHz, but it also measures different frequency ranges from

triaxial E-field antennas. The device is designed for light and practical use and is easy to use in harsh conditions. SRM-3006 can be fitted with single-axis and three-axis antennas and measurements can be made [19]. The SRM-3006 device is shown in Figure 1. The device is periodically calibrated.

SRM device is fixed with the neck collar to the person making the measurement. The device is fixed at a height of 1.5 meters from the ground. Measurements were made for 6 minutes for each location.



Figure 1. SRM-3006

In order to observe the stress and energy situation in human, measurements are made by GDV (Gas Discharge Visualization) technique. Gas Discharge Visualization device is designed for photoelectric event. Photoelectric is defined as electrons scattered from a surface where light falls. The name of the GDV device is Bio-well. Device produced by photoelectric imaging technique [20]. The Bio-well device is shown in Figure 2.

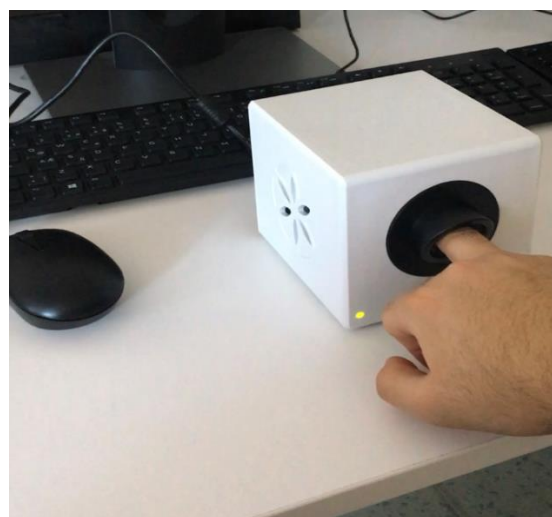


Figure 2. Bio-well device

III. RESULTS and DISCUSSION

Periodic EMF measurements were performed for the environment in order to determine the reliability and accuracy of the measurements within the campus. The

measuring zone is shown in Figure 3. In total, measurements were carried out at 19 different points determined by SRM-3006 device for 12 days. The measurements were made at the same time intervals. All periodic measurements have taken care of sunny weather. The results of the measurements were mapped with Mapinfo map application.

The locations of the GDV and electric field measurements at the Başbüyük Campus of Marmara University are shown in Figure 3 below. 19 different measuring points are indicated by yellow icons. The red area shows the active roads and areas within the campus.



Figure 3. Measured locations

Figure 4 shows the result of the first day of the periodic electric field measurements. Point result mapping was done with mapinfo application. The electric field measurement results are colored according to certain intervals.

Table 3 below shows the average values of the 12-day electric field measurements at 19 different points. At the same time the coordinates of 19 different points are indicated.

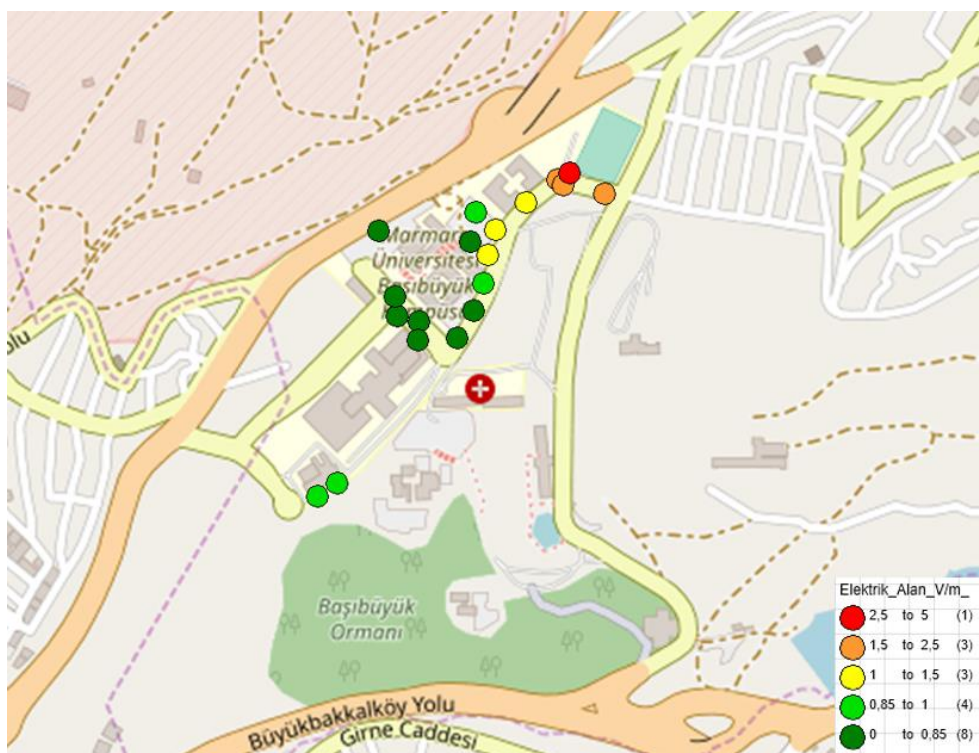


Figure 4. First day measurement result

Table 3. 12-day average electric field values

Locations	Average of Electric Field (V/m)	Latitude	Longitude
Base Station Side	4,11	40,953927	29,142369
Institute of Neurological Sciences	0,87	40,949014	29,137320
Institute of Neurological Sciences and Gastroenterology	0,88	40,949221	29,137698
Bus Station1	0,88	40,951668	29,139349
Bus Station2	0,85	40,951751	29,138922
Car Park	0,89	40,953041	29,138539
Health Sciences_Location1	0,96	40,952880	29,140373
Health Sciences_Location2	0,88	40,953330	29,140485
Health Sciences_Location3	2,01	40,953066	29,140888
Health Sciences_Location4	1,58	40,952672	29,140733
Faculty of Medicine_Location1	0,89	40,951829	29,140436
Faculty of Medicine_Location2	0,90	40,952251	29,140651
Faculty of Medicine_Location3	0,89	40,951420	29,140115
University Entrance	2,79	40,953603	29,143067
Walking Path1	2,70	40,953465	29,141490
Walking Path2	2,74	40,953813	29,142127
Walking Path3	2,52	40,953736	29,142236
Walking Path4	0,85	40,952055	29,138871
Walking Path5	0,85	40,951389	29,139335

Periodic electric field measurements were performed according to 3 different weather conditions. These are sunny, rainy and cloudy days. The results of

measurements made according to different weather conditions are given in Table 4 below.

Table 4. Electric field (V/m) measurement results according to different weeather conditions

Locations	Sunny	Cloudy	Rainy
Base Station Side	5,163	4,386	3,509
Institute of Neurological Sciences	0,895	0,851	0,862
Institute of Neurological Sciences and Gastroenterology	0,923	0,848	0,851
Bus Station1	0,913	0,849	0,86
Bus Station2	0,922	0,862	0,883
Car Park	0,865	0,835	0,873
Health Sciences_Location1	2,111	1,259	0,923
Health Sciences_Location2	0,868	0,843	0,88
Health Sciences_Location3	2,88	0,903	1,285
Health Sciences_Location4	2,382	1,306	1,26
Faculty of Medicine_Location1	1,135	0,893	0,882
Faculty of Medicine_Location2	1,744	0,907	0,904
Faculty of Medicine_Location3	1,079	0,905	0,933
University Entrance	2,576	1,501	1,351
Walking Path1	3,952	2,317	2,148
Walking Path2	2,692	2,875	2,167
Walking Path3	3,339	2,553	1,987
Walking Path4	0,889	0,844	0,876
Walking Path5	0,948	0,857	0,877

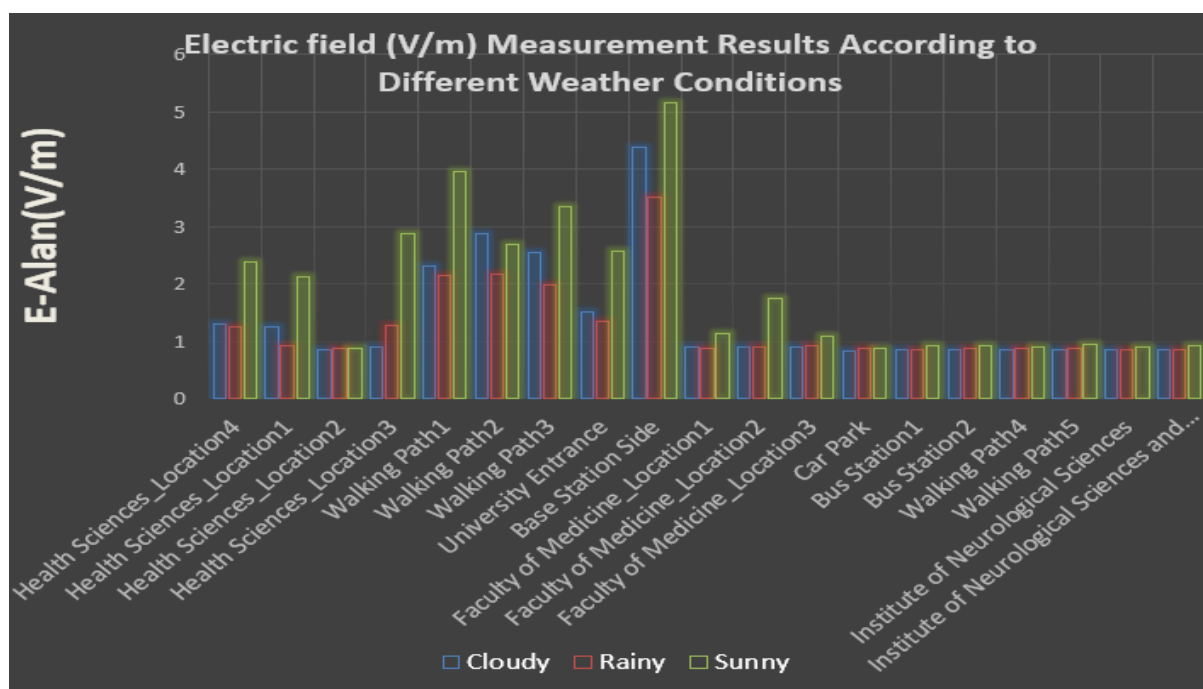


Figure 5. Electric field measurement results according to different weather conditions

Figure 5 shows a comparative graphical representation of the electric field measurements according to different weather conditions. Electrical field measurements at sunny, cloudy and rainy weather at 19 different locations are shown.

Measurements were made with Bio-well device in order to observe human energy and stress status at

different electric field values in Başbüyük Campus. 11-day periodic measurements were made at the highest point in the campus and at points with an electric field value less than 1 V / m. I applied all of the bio-well measurements on myself. Figure 6 shows numerical ranges and meanings for energy and stress states.



Figure 6. First day energy and stress measurement results at low electric field location

Table 5. 11-day energy and stress measurement results

Day	Low electric field location(Stress)	High electric field location (Stress)	High electric field location (Energy)	Low electric field location(Energy)
1	3,86	2,98	43,9	45,08
2	3,78	3,18	46,61	42,27
3	3,37	3,14	42,88	43,48
4	3,06	2,91	43,92	45,19
5	3,22	3,26	44,13	46,8
6	4,23	3,98	48,53	39,91
7	2,94	2,92	43,13	44,85
8	3,55	3,32	45,72	42,53
9	3,66	3,61	40,83	41,2
10	3,35	3,63	46,44	49,93
11	3,53	3,39	39,7	40,03

Table 5 shows the 11-day energy and stress measurement results. Energy and stress measurements were carried out in the location where the electric field was low and in the location where the electric field was high.

The study was conducted to observe the stress and body organ energies of the cell phone interview with the bio-well device. In this study, biowell measurements were made according to two different situations: no phone calls and 30 minutes after the phone call. According to the measurement results, no difference was observed in stress and energy states.

IV. CONCLUSION

In this article, electromagnetic field pollution map of Marmara University Başbüyük Campus has been prepared. When the electric field value of the highest measured point in the campus is compared with the limit values determined by ICNIRP and BTK, it is seen that the limit values are below the limit values. The second measurement was carried out in different weather conditions. A total of 3 different electric field measurements were performed in sunny, cloudy and rainy weather conditions. In sunny, cloudy and rainy weather conditions, generally in sunny weather, electric field values were high. In general, the lowest electric field measurement was in rainy weather. For the point

with the highest electric field, the electric field measurement in sunny weather was 47% higher than in rainy weather. In the third study, measurements were made to observe the changes in the stress and energy status of the human in relation to the electric field by using GDV technique with bio-well device. Two different points were selected in the campus. The selected places were determined according to the points where the electric field was high and low. When the results of the 11-day periodic measurements were examined, the stress and energy levels were close to each other at both points. The average of the stress values measured at the base station side point is 3.5, while the average of the measured values at the parking point is 3.3. There was a difference of 0.2 between two points and no significant difference was observed. In energy measurements, the average of the measurements at the base station side point is 44.16, while the average of the measurements at the parking point is 43.75. The difference between the two environments is 0.41. When the measured stress and energy values are examined, it is considered that the electric field environment between 0-5 V / m has no effect on stress and energy in human. Before the mobile phone call at the parking point and after 30 minutes mobile phone call, energy and stress status measurements were made with bio-well device. According to the measurement results, 30-minute mobile phone call has no negative effect on energy and stress level.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Marmara University Scientific Research Unit with the number of FEN-C-YLP-141118-0601.

REFERENCES

- [1] Pollack, G. L., Stump, D. R. (2004) Electromagnetism, 2. Edition, Editors; Zengin, M., Turkoz, S., Aydin, Z., Ankara, Turkey, s. 1-50.
- [2] Özdiñç, Polat, L. N. (2011) Modelling of SAR distribution and temperature increase in muscle tissue of electromagnetic field exposure. MSC thesis, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey, 3-20.
- [3] Magnetic Field Of Current, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/magcur.html#c1>, (May 2019).
- [4] Keysan A. (2015) Electromagnetic field map of Balıkesir city center and Balıkesir university cagis campus. MSC thesis, Balıkesir University, Balıkesir, Turkey, i-30.
- [5] Cleveland, R. F., Ulcek, Jr. J. L. (1999) Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields. Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology, Oet Bulletin 56, Fourth Edition, Washington, USA.
- [6] Electromagnetic Fields and Cancer, <https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/radiation/electromagnetic-fields-fact-sheet>, (May 2019).
- [7] Martinez-Samano J, Flores-Poblano A, Verdugo-Diaz L, Juarez-Oropeza MA, Torres-Duran PV. Extremely low frequency electromagnetic field exposure and restraint stress induce changes on the brain lipid profile of Wistar rats. BMC Neuroscience. 2018;31.
- [8] A review of the effects of electromagnetic fields on the environment, https://www.researchgate.net/publication/317175275_A_REVIEW_OF_THE_EFFECTS_OF_ELECTROMAGNETIC_FIELDS_ON_THE_ENVIRONMENT, (June 2019)
- [9] Markov MS. Electromagnetic fields and life. J Electr Electron Syst. 2014;119(3).
- [10] Kıvrak EG, Yurt KK, Kaplan AA, Alkan I, Altun G. Effects of electromagnetic fields exposure on the antioxidant defense system. J of Microscopy and Ultrastructure. 2017; 5:167-176.
- [11] Valberg PA. Electric and magnetic fields: What do we know about the health?. Int Arch Occup Environ Health. 2018; 86:448-454.
- [12] Keysan A. Electromagnetic field map of Balıkesir city center and Balıkesir University Çağış Campus. Master thesis, Balıkesir University, Balıkesir, Turkey, 2015; i-30.
- [13] Aktaş B. Electromagnetic field measurement in a electricity distribution company and statistical evaluation of possible effects on employees. Master thesis, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey, 2016; iii-27.
- [14] Callıalp Kunter F., Seker S. S. Electromagnetic pollution assessment in different environments with measurements and modellings at very low frequency. Süleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Sciences, Vol. 21, Issue 3, pp. 724-732, 2017.
- [15] Callıalp Kunter F., Seker S. S., Sürmeli E., Cerezci O. Experimental propagation study for 2G, 3G and 4G frequencies. International Journal of Modern Research in Engineering and Technology (IJMRET), Vol. 3, Issue 2, pp. 20-26, February 2018.
- [16] Genç Ö. Statistical analysis of the effects of GSM bands to the electromagnetic pollution in the RF frequencies. PhD thesis, Selcuk University, Konya, Turkey, 10-39.
- [17] ICNIRP, <https://www.icnirp.org/>, (May 2019)
- [18] BTK, <https://www.btk.gov.tr/>, (May 2019)
- [19] SRM-3006, <https://www.protelturkey.com/en/brands/narda-en/>, (May 2019)
- [20] Bio-well, <https://www.bio-well.com/gb/home.html>, (May 2019).

Evsel Katı Atık Toplama ve Taşıma İşkolunda Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının Değerlendirilmesi, Ankara-Yenimahalle Örneği

Occupational Health and Safety Conditions of Employees Working in the Domestic Waste Collection and Transportation Business Field, Case of Ankara-Yenimahalle

Leyla Merve ÖZER¹ , Orhan GÖKYAY² 

¹ Marmara Üniversitesi, İş Güvenliği Anabilim dalı, İş Güvenliği Programı, İstanbul, TÜRKİYE

² Marmara Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy/İstanbul, TÜRKİYE

Öz

Evsel katı atık başka bir deyişle çöp, sadece çevre kirliliği anlamında ilgilenilen bir olgu değildir. Çöp genel kapsamıyla toplama, taşıma, ayrıştırma ve depolama gibi çeşitli aşamalara sahip bir süreçtir. Bu sebeple evsel katı atık alanında çalışanlar iş sağlığı ve güvenliği açısından birtakım risklerle karşılaşmaktadır. Karşılaşılan riskler detaylı şekilde araştırıldıktan sonra gerekli önlemler alınarak atılacak adımlar belirlenmelidir. Atık bilinci Türkiye’de yeteri kadar gelişmemiştir. Çöpü mümkün olduğunca kaynağında ayırmak bu bilincin gelişmesindeki en önemli faktördür. Kazanılan atık bilinciyle birlikte çöpü kaynağında ayırmanın katı atıkları toplamak ve taşımak için yapılan masrafları azaltmasıyla birlikte evsel katı atık toplama ve taşıma işkolunda çalışanların sıklıkla karşılaştığı risk etmenlerinin de ortadan kalkmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Geçmiş araştırmalar, bu işkolunda çalışanların önemli bir kısmının sağlık ve güvenlik problemleri ile devamlı olarak karşılaştıklarını göstermektedir. Evsel katı atık toplama ve taşıma işkolunda çalışanların iş sağlığı ve güvenliği koşullarının değerlendirilmesi amaçlanan bu çalışmada anket yöntemi kullanılmıştır. Anket sonuçlarına göre veri analizleri yapıp hipotez testleri uygulanmış ve bu işkolunda çalışan işçilerde çalışma süreleri, eğitim düzeyleri, yaş grupları, yaralanma ve/veya hastalık geçirme durumları, teknik eğitim almış olmak ve almamış olmak durumları ve güvenlik önlemlerinin alınmıyor ve alınmıyor olması durumlarına göre tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı hakkında çeşitli sonuçlar çıkarılmış ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Evsel katı atık, Atık bilinci, Belediye, İş sağlığı ve güvenliği

Abstract

Domestic solid waste which means garbage is not a fact that just concerned with the field of environment pollution. This sector has several phases like collection, transportation, sorting and storage. Employees can encounter with some serious risks in the field of occupational health and safety. Investigations should be done carefully and necessary precautions should be taken for all these risks. Awareness for waste is not developed sufficiently in Turkey. The separation of garbage at the source can be reduce costs to transport and dispose of solid wastes, and also be eliminate many risk factors people who work at the domestic solid waste collection and transport business. Field researches in this area show that employees are faced with serious health and security problems. In this study which is conducted to evaluate the occupational health and safety conditions of employees working in the domestic waste collection and transportation business field, firstly general information about the subject was given. According to the survey results, data analyses were carried out and hypothesis tests were applied in domestic solid waste collection and transportation field for variables like working time of workers, education levels, age groups, injury and/or disease status, taking or not taking technical training and taking or not taking safety precautions. Various conclusions have been drawn and interpreted about the frequency of encounters with hazard factors.

Keywords: Domestic solid waste, Waste awareness, Municipality, Occupational health and safety

I. GİRİŞ VE AMAÇ

Katı atık, son kullanma tarihi geçmiş, kullanıcı tarafından istenmeyen ve üreticinin kullanamayacağı durumdaki, canlıların yaşadığı çevreden uzak tutulması gereken maddelerdir. Evsel katı atık diğer bir deyişle çöp adı üzerinde büyük bir kısmı evlerden atılan ve genellikle tehlikeli olmayan atıklardır. Katı atıkların kontrolü yönetmeliğine göre ilaç, pil, lastik, akü ve büyük hacimli ev eşyalarını evsel katı atıklarla atmak yasaklanmıştır [1].

Hızlı nüfus artışı, göç ve çarpık kentleşmenin sonuçlarından biri olarak kentlerde katı atık kaynaklı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de Katı atıkların toplanması, ayrıştırılması ve bertaraf edilmesi gibi katı atıkların yönetimi belediyelerin görev alanı içine girmektedir. Konu hakkındaki yönetmeliğe göre, evsel katı atık tanımı yapılmış ve bu tanımı kapsayan atıklar belirtilmiş olsa da Türkiye’deki atık bilinci yeteri kadar gelişmemiş olduğu için atılan çöplerin içerisinde tehlikeli olabilecek atıkların mevcudiyeti bilinmemektedir. Dünyadaki çöp toplama sistemlerinden

Sorumlu yazar: Orhan GÖKYAY, Tel: +90 216 777 3606, e-posta: orhan.gokyay@marmara.edu.tr

Gönderilme: 10.12.2019, **Düzenleme:** 13.07.2020, **Kabul:** 08.08.2020

vakum teknolojisiyle çöp toplama ve tam otomatik çöp toplama sistemi, çöpün insan gücüyle toplanması ve taşınmasını ortadan kaldırdığı için çalışanların iş sağlığı ve güvenliği açısından karşılaşılabilecekleri fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ergonomik tehlike faktörlerini de ortadan kaldırmaktadır. Türkiye’de, dünyada kullanılmakta olan vakum teknolojisiyle çöp toplama ve tam otomatik çöp toplama sistemlerine geçen bir belediye henüz bulunmamaktadır. Ankara’nın iki en büyük belediyesi olan Yenimahalle ve Çankaya Belediyelerinin kullandığı yeraltı çöp toplama sistemini (daldırılmalı çöp konteyner sistemi) yavaş yavaş diğer ilçe belediyeleri de kullanmaya başlamıştır. Bu yeni sistemin en büyük faydalarından biri işçilerin çöpleri insan gücüyle toplamadıkları ve taşımadıkları için ağır yük kaldırma tehlikelerinin ortadan kalkmasıdır. Diğer bir faydası ise işçilerin çöpe teması olmaması sonucunda kesilme ve delinme, solunum ve enfeksiyon hastalıkları tehlikeleri ortadan kalkacaktır. Türkiye’de atık bilinci gelişmediği sürece bu işkolunda çalışanların karşılaştığı tehlike ve riskler mevcut olup artmaya devam edecektir. Dolayısıyla bu çalışmada anket yöntemi kullanılarak Ankara’nın Yenimahalle belediyesi bünyesinde evsel katı atık toplama ve taşıma işkolunda çalışan temizlik işçilerinin iş sağlığı ve güvenliği koşullarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Anket sonuçlarına göre hipotez testleri uygulanarak çeşitli sonuçlar çıkarılmış ve yorumlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu çalışma kapsamında Ankara’nın ikinci en büyük nüfuslu Yenimahalle ilçesinin evsel katı atık toplama ve taşıma işini yapan belediye ve taşeron firma bünyesinde saha çalışması yapılmıştır. Yenimahalle belediyesinde çalışanların başına gelmiş ve kayıtları tutulmuş olan iş kazaları ve meslek hastalıkları incelenip makalede sunulmuştur. Yenimahalle ilçesi temizlik işleri müdürlüğü bünyesinde çalışanlara yönelik anket çalışması yapılmıştır. Ankette işçilerin yaşları, çalışma süreleri, eğitim seviyeleri, son zamanlarda geçirdikleri yaralanmalar ve/veya hastalıklar ve kişisel koruyucu donanım kullanımı ile ilgili değerlendirme soruları sorulmuştur. Elde edilen anket verileri ve hipotez testleri sonuçlarına dayanılarak çeşitli analizler yapılmıştır.

Çalışmada 6 adet farklı hipotez testi yapılmıştır. Ankete katılan toplam kişi sayısı esas alınarak aritmetik ortalama ile hipotez belirlenmesinde kullanılacak olan ortalama kişi sayıları hesaplanmıştır. Toplamda 67 kişiye uygulanan bu anket sonucunda ilk dört hipotez testi için ikiye ayrılan gruplardaki insan sayısı belirlenip daha sonra o gruplar içerisinde tehlike etmenleriyle karşılaşan ortalama insan sayısı hesaplanmıştır. Son iki hipotez testi içinse sayıları ayrılan ikişerli gruplarda yaralanma ve/veya hastalık geçiren ortalama insan sayısı hesaplanmıştır. Her bir test için ortalama kişi sayısı hesabından sonra Excel’de standart sapmalar hesaplanmıştır.

Varyans analizi (F testi) kısmında varyansların homojenlik gösterip göstermediği belirlenmiştir. Bu teste göre F_{hesap} belirtilen formül ile F_{tablo} ise Excel’de FTERS formülü ile hesaplanmıştır.

$$F_{hesap} = S_{max}^2 \div S_{min}^2$$

F testi sonucunda F_{hesap} değeri F_{tablo} değerinden küçük veya eşitse varyansların homojen olduğu kararına varılır. F testi sonucunda F_{hesap} değeri F_{tablo} değerinden büyükse varyansların homojen olmadığı kararına varılır.

Hipotezlerin belirlenmesi kısmında T_{hesap} belirtilen formülle, T_{tablo} ise Excel’de TTERS formülü ile hesaplanmıştır. X değeri ortalama kişi sayısını, S değeri standart sapmayı, N değer ise kişi sayısını göstermektedir.

H_0 : Skor ortalamaları arasında fark yoktur. ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : Skor ortalamaları arasında fark vardır. ($\mu_1 \neq \mu_2$)

$$S_o^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

$$T_{hesap} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_o^2}{n_1} + \frac{S_o^2}{n_2}}}$$

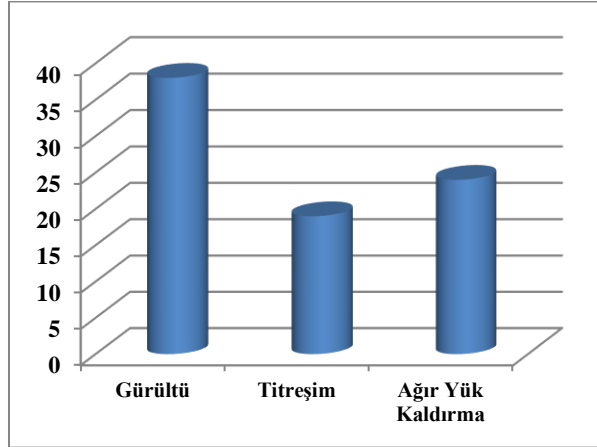
T_{hesap} değeri T_{tablo} değerinden küçük veya eşitse H_0 hipotezi kabul edilip ortalamalar arasında fark olmadığı sonucuna varılır.

T_{hesap} değeri T_{tablo} değerinden büyükse H_1 hipotezi kabul edilip ortalamalar arasında fark olduğu sonucuna varılır [4].

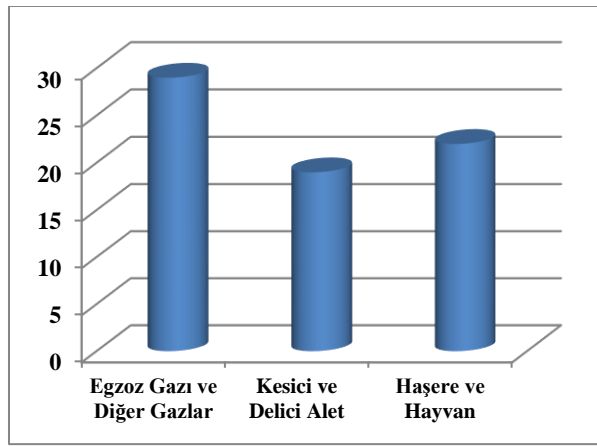
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Çalışanlara Yönelik Anket Çalışması Veri Analizleri

Toplam 67 çalışana anket uygulaması yapılmış ve anket uygulanan 67 çalışanın 64’ü erkek, 3’ü ise kadın çalışan, 35’i ilköğretim, 14’ü ortaokul, 10’u lise ve 8’i üniversite mezunu olduğu belirlenmiştir. Bu kişiler arasında 1’i kırık ve çatlak, 7’si kesilme ve delinme, 6’sı ezilme yaralanmalarını geçirmiştir. Yine anket uygulanan 67 çalışanın 6’sı cilt ve alerjik hastalık, 3’ü solunum hastalığı ve 5’i anket doldurulurken belirtilmemiş diğer yaralanma ve hastalıkları geçirmiştir. Yaralanma ve hastalık geçirmeyen toplam 43 kişi vardır. Çalışanların maruz kaldığı tehlike etmenleri gürültü, titreşim, ağır yük kaldırma, egzoz gazı ve diğer gazlar, kesici ve delici aletler ve haşere ve hayvanlardır. Bu çalışma sırasında ortaya çıkan çalışanların maruz kaldığı tehlike etmenleri ve dağılımları Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışanların maruz kaldığı tehlike etmenleri



Şekil 2. Çalışanların maruz kaldığı tehlike etmenleri

Şekil 1 ve 2'de görüldüğü gibi anket uygulanan 67 çalışanın 38'i gürültüye, 19'u titreşime, 24'ü ağır yük kaldırmaya, 29'u egzoz gazı ve diğer gazlara, 19'u kesici ve delici alete ve 22'si haşere ve hayvanlara maruz kaldığını belirtmiştir.

3.2. Hipotez Testleri

Yenimahalle Belediyesi temizlik işçilerine yapılan anket verileri ışığında bazı hipotez testleri uygulanmıştır. İlk dört hipotez testi ile tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı skoru değişkeni yönünden yaş grupları, eğitim düzeyleri, çalışma süreleri ve yaralanma ve/veya hastalık geçirip geçirmeme durumları farklı grupların ortalamaları karşılaştırılıp ortalamalar arasında fark olup olmadığı gözlemlenmiştir. Son iki hipotez testi ile de yaralanma ve/veya hastalık geçirme sıklığı skoru yönünden teknik eğitim almıp alınmaması ve güvenlik önlemlerinin alınıp alınmaması durumları farklı grupların ortalamaları karşılaştırılıp ortalamalar arasında fark olup olmadığı gözlemlenmiştir.

1. Yenimahalle Belediyesi temizlik işçilerine uygulanan anket sonucuna göre tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı skoru değişkeni yönünden eğitim düzeyleri farklı grupların ortalamaları karşılaştırılıp ortalamalar arasında

fark olup olmadığı gözlemlenmiştir. Bu teste temizlik işçileri eğitim seviyelerine göre iki gruba ayrılarak incelenmiştir ve sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Eğitim seviyeleri yönünden tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı verileri

Eğitim Düzeyi	Tehlike Etmenleriyle Karşılaşma Sıklığı Skoru		
	N	Ortalama (X)	Standart Sapma (S)
İlkokul	35	30	2,5
Ortaokul, lise ve üniversite	32	26,5	2,75

Tablo 1'de eğitim düzeyi, ilkökullü ve ortaokul, lise ve üniversite olarak iki kategoriye ayrılmış anket verileri ile hesaplanan standart sapma görülmektedir. Anket verilerine göre 35 kişi ilkökullü, geri kalan 32 kişi ise ortaokul, lise veya üniversite mezunudur. Tablo 2'de yapılan varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Eğitim seviyelerine göre varyans analiz sonuçları

F_{hesap}	1,21
F_{tablo}	1,81

F_{hesap} değeri F_{tablo} değerinden küçük olduğundan dolayı varyansların homojen olduğu kararına varılır. Hipotezlerin belirlenmesi için aşağıda bulunan Tablo 3 kullanılmıştır.

Tablo 3. Eğitim seviyelerine göre hipotez test sonuçları

X_1	30
X_2	26,5
S_0	6,54
t_{hesap}	2,19
t_{tablo}	1,99

t_{hesap} değeri t_{tablo} değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve ortalamalar arasında fark olduğu kabul edilir. Uygulanan bu teste göre eğitim düzeyinin tehlike etmenleriyle karşılaşmada etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Eğitim düzeyi azaldıkça tehlike etmenleriyle karşılaşma durumu artıyor söyleminde bulunulabilir. Bunun sebebi eğitim düzeyi yüksek olan bireyin aldığı eğitimden dolayı iş bilincinin daha fazla olması olabilir.

2. Yenimahalle Belediyesi temizlik işçilerine uygulanan anket sonucuna göre tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı skoru değişkeni yönünden yaşları farklı grupların ortalamaları karşılaştırılıp ortalamalar arasında fark olup olmadığı gözlemlenmiştir. Bu teste temizlik işçileri yaşlarına göre iki gruba ayrılarak

incelenmiştir ve ortaya çıkan sonuç Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Yaş grupları yönünden tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı verileri

Yaş	Tehlike Etmenleriyle Karşılaşma Sıklığı Skoru		
	N	Ortalama (X)	Standart sapma (S)
18-40	21	18,5	1,25
40+	38	32	3

Tablo 4’de yaş grupları, 18-40 ve 40 yaş ve üzeri olarak iki kategoriye ayrılmış anket verileri ile Excel’de hesaplanan standart sapmalar görülmektedir. Anket verilerine göre 21 kişi 18-40 yaş aralığında, 38 kişi ise 40 yaş ve üzeri yaşındadır. Bu sonuçlara göre varyans analizi yapılmıştır (Tablo 5)

Tablo 5. Yaş gruplarına göre varyans analiz sonuçları

F_{hesap}	5,76
F_{tablo}	1,86

F_{hesap} değeri F_{tablo} değerinden büyük olduğundan dolayı varyansların homojen olmadığı kararına varılır. Hipotezlerin belirlenmesi için kullanılan değerler Tablo 6’da yer almaktadır.

Tablo 6. Yaş gruplarına göre hipotez test sonuçları

X_1	18,5
X_2	32
S_o	2,04
t_{hesap}	-24,30
t_{tablo}	2,00

t_{hesap} değeri mutlak formülü içerisinde t_{tablo} değerinden büyük olduğu için H_o hipotezi reddedilir ve ortalamalar arasında fark olduğu kabul edilir. Uygulanan bu teste göre yaş farklılıklarının tehlike etmenleriyle karşılaşmada etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Yaşça daha büyük olanların tehlike etmenleriyle karşılaşma durumunun daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun başlıca sebeplerinden biri yaş ilerledikçe bireyin iş başındaki rahatlığı, bir diğer sebebi ise ileri yaşlardaki çalışanların verilen eğitimlere yeterli dikkati verememiş olması olduğu düşünülmektedir.

3. Yenimahalle Belediyesi temizlik işçilerine uygulanan anket sonucuna göre tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı skoru değişkeni yönünden çalışma süreleri farklı grupların ortalamaları karşılaştırılıp ortalamalar arasında fark olup olmadığı gözlemlenmiştir. Bu testte temizlik işçileri çalışma sürelerine göre iki gruba ayrılarak incelenmiş ve sonuçlar Tablo 7’de ortaya konmuştur.

Tablo 7. Çalışma süreleri yönünden tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı verileri

Çalışma Süreleri	Tehlike Etmenleriyle Karşılaşma Sıklığı Skoru		
	N	Ortalama (X)	Standart sapma (S)
0-5 Yıl	26	22,5	1,75
5 Yıl+	25	22	1,5

Tablo 7’de çalışma süreleri, 0-5 yıl ve 5 yıl ve üzeri olarak iki kategoriye ayrılmış anket verileri ile Excel’de hesaplanan standart sapmalar verilmiştir. Ankete göre 26 kişinin çalışma süresi 0-5 yıl arasında olup 25 kişinin ise 5 yıl ve üzeridir. Buna göre yapılan varyans analizi Tablo 8’de yer almaktadır.

Tablo 8. Çalışma sürelerine göre varyans analiz sonuçları

F_{hesap}	1,36
F_{tablo}	1,97

F_{hesap} değeri F_{tablo} değerinden küçük olduğundan dolayı varyansların homojen olduğu kararına varılır. Hipotezlerin belirlenmesi için Tablo 9 kullanılmıştır.

Tablo 9. Çalışma sürelerine göre hipotez test sonuçları

X_1	22,5
X_2	22
S_o	9,85
t_{hesap}	0,18
t_{tablo}	2,01

t_{hesap} değeri t_{tablo} değerinden küçük olduğu için H_o hipotezi ve ortalamalar arasında fark olmadığı kabul edilir. Uygulanan bu testten çıkarılan sonuca göre çalışma süresinin fazlalığının veya azlığının tehlike etmenleriyle karşılaşmada bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

4. Yenimahalle Belediyesi temizlik işçilerine uygulanan anket sonucuna göre tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı skoru değişkeni yönünden yaralanma ve / veya hastalık geçirip geçirmeme durumundan farklı grupların ortalamaları karşılaştırılıp ortalamalar arasında fark olup olmadığı gözlemlenmiştir. Bu testte temizlik işçileri yaralanma ve/veya hastalık geçirip geçirmeme durumlarına göre iki gruba ayrılarak incelenmiş ve sonuçlar Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Yaralanma ve/veya hastalık geçirip geçirmemeleri yönünden tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı verileri

Yaralanma ve/veya Hastalık Durumlarına Göre	Tehlike Etmenleriyle Karşılaşma Sıklığı Skoru		
	N	Ortalama (X)	Standart Sapma (S)
Yaralanma ve/veya Hastalık Geçirenler	27	22,5	2,25
Yaralanma ve/veya Hastalık Geçirmeyenler	40	34	3

Tablo 10'da yaralanma ve/veya hastalık geçirip geçirmeme durumlarına göre iki gruba ayrılmış olan çalışanların anket verileri ile Excel'de hesaplanmış standart sapmalar verilmiştir. Anket verilerine göre yaralanma ve/veya hastalık geçirenlerin sayısı 27 olup yaralanma ve/veya hastalık geçirmeyenlerin sayısı 40 kişidir. Yapılan varyans analizi Tablo 11'de gösterilmektedir.

Tablo 11. Yaralanma ve/veya hastalık geçirip geçirmeme durumlarına göre varyans analiz sonuçları

F_{hesap}	1,77
F_{tablo}	1,78

F_{hesap} değeri F_{tablo} değerinden küçük olduğundan dolayı varyansların homojen olduğu kararına varılır. Hipotezlerin belirlenmesi için Tablo 12 kullanılmıştır.

Tablo 12. Yaralanma ve/veya hastalık geçirip geçirmeme durumlarına göre hipotez test sonuçları

X_1	22,5
X_2	34
S_0	16,87
t_{hesap}	-2,74
t_{tablo}	1,99

t_{hesap} değeri mutlak değer formülü içerisinde t_{tablo} değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve ortalamalar arasında fark olduğu kabul edilir. Uygulanan bu testten çıkarılan sonuca göre daha önceden yaralanma ve/veya hastalık geçirmemiş olanların daha önceden yaralanma ve/veya hastalık geçirmiş olanlara göre tehlike etmenleriyle karşılaşmasının daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun başlıca sebebi önceden en az bir kere yaralanma ve/veya hastalık geçirmiş olanların iş ile ilgili yeterli tecrübeyi edinmiş olup yapılan iş hakkında daha da bilinçlenmesi olduğu düşünülmektedir.

- Yenimahalle Belediyesi temizlik işçilerine uygulanan anket sonucuna göre yaralanma ve/veya hastalık geçirme sıklığı skoru değişkeni yönünden işe başlamadan önce teknik eğitimleri almış ve almamış olan işçiler şeklinde farklı

grupların ortalamaları karşılaştırılıp ortalamalar arasında fark olup olmadığı gözlemlenmiştir. Bu testte temizlik işçileri işe başlamadan önce teknik eğitim alan ve almayan işçiler olmak üzere iki gruba ayrılarak incelenmiştir ve değerler Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. İşçilerin işe başlamadan önce teknik eğitim alıp almama durumlarına göre yaralanma ve/veya hastalık geçirme sıklığı verileri

Teknik eğitim alıp almama durumlarına göre	Yaralanma ve/veya Hastalanma Sıklığı Skoru		
	N	Ortalama (X)	Standart sapma (S)
Teknik eğitim almış olanlar	48	35,5	6,25
Teknik eğitim almamış olanlar	19	11	4

Tablo 13'de teknik eğitim alıp almama durumlarına göre iki gruba ayrılmış çalışanların anket verileri ile Excel'de hesaplanmış standart sapmalar verilmiştir. Anket verilerine göre teknik eğitim almış olan kişi sayısı 48 olup teknik eğitim almamış olan kişi sayısı 19 dur. Yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 14'de gösterilmektedir.

Tablo 14. İşçilerin işe başlamadan önce teknik eğitim alıp almama durumlarına göre varyans analiz sonuçları

F_{hesap}	2,44
F_{tablo}	2,04

F_{hesap} değeri F_{tablo} değerinden büyük olduğundan dolayı varyansların homojen olmadığı kararına varılır. Hipotezlerin belirlenmesi için Tablo 15 kullanılmıştır.

Tablo 15. İşçilerin işe başlamadan önce teknik eğitim alıp almama durumlarına göre hipotez test sonuçları

X_1	35,5
X_2	11
S_0	0,71
t_{hesap}	127,49
t_{tablo}	1,99

t_{hesap} değeri t_{tablo} değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve ortalamalar arasında fark olduğu kabul edilir. Uygulanan bu testten çıkarılan sonuca göre önceden teknik eğitim almış olanları yaralanma ve/veya hastalanma sıklığının teknik eğitim almamış olanlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durumdan çıkartılacak tek sonuç iş kazalarının büyük bir kısmının insan kaynaklı olduğudur. Her ne kadar iş ile ilgili teknik eğitimler verilip kişisel koruyucu donanım ekipmanlarının öneminden bahsedilse de çalışanların dikkatsizliği ve bilinçsizliğinin iş

kazalarına yol açtığı düşünülmektedir.

6. Yenimahalle Belediyesi temizlik işçilerine uygulanan anket sonucuna göre yaralanma ve/veya hastalık geçirme sıklığı skoru değişkeni yönünden iş sırasında gerekli güvenlik önlemlerinin alınmıyor olması ve alınmıyor olması şeklinde farklı grupların ortalamaları karşılaştırılıp ortalamalar arasında fark olup olmadığı gözlemlenmiştir. Bu test iş sırasında işçiler için gerekli güvenlik önlemlerinin alınmıyor olması ve alınmıyor olması şeklinde iki gruba ayrılarak incelenmiş ve değerler Tablo 16'da verilmiştir

Tablo 16. İşçiler için gerekli güvenlik önlemlerinin alınmıyor olması ve alınmıyor olması durumlarına göre yaralanma ve/veya hastalık geçirme sıklığı verileri

Güvenlik Önlemlerinin alınıp alınmaması durumuna göre	Yaralanma ve/veya Hastalanma Sıklığı Skoru		
	N	Ortalama (X)	Standart sapma (S)
Güvenlik önlemleri alınmıyor	43	29,5	6,75
Güvenlik önlemleri alınmıyor	24	16,5	3,75

Tablo 16'da güvenlik önlemlerinin alınıp alınmaması durumlarına göre iki gruba ayrılmış çalışanların anket verileri ile Excel'de hesaplanmış standart sapmalar verilmiştir. Anket verilerine göre güvenlik önlemlerinin alınmıyor oluşunu iddia eden kişi sayısı 43 olup, güvenlik önlemlerinin alınmıyor olduğunu iddia eden kişi sayısı 24 kişidir. Yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 17'de gösterilmektedir.

Tablo 17. İşçiler için gerekli güvenlik önlemlerinin alınmıyor ve alınmıyor olması durumlarına göre varyans analiz sonuçları

F_{hesap}	3,24
F_{tablo}	1,91

F_{hesap} değeri F_{tablo} değerinden büyük olduğundan dolayı varyansların homojen olmadığı kararına varılır. Hipotezlerin belirlenmesi için Tablo 18 kullanılmıştır.

Tablo 18. İşçiler için gerekli güvenlik önlemlerinin alınmıyor ve alınmıyor olması durumlarına göre hipotez test sonuçları

X_1	29,5
X_2	16,5
S_0	5,87
t_{hesap}	8,70
t_{tablo}	1,99

t_{hesap} değeri t_{tablo} değerinden büyük olduğu için H_0

hipotezi reddedilir ve ortalamalar arasında fark olduğu kabul edilir. Uygulanan bu testten çıkarılan sonuca göre güvenlik önlemlerinin alınmıyor olduğunu iddia edenlerin güvenlik önlemlerinin alınmıyor olduğunu iddia edenlere göre daha fazla yaralanma ve/veya hastalanma geçirdikleri görülmektedir. Yine bu durumdan yapılacak en büyük çıkarım iş kazalarının önemli kısmının insan kaynaklı olduğudur. Her ne kadar iş ile ilgili gerekli ve yeterli güvenlik önlemleri alınmıyor olsa çalışanların dikkatsizliği ve bilinçsizliğinin iş kazalarına yol açabilmektedir.

Ankara'nın ikinci en büyük belediyesi olan Yenimahalle Belediyesi temizlik işleri bünyesinde yapılmış olan anket çalışması sonuçlarına göre kurulan hipotez test verileri ışığında evsel katı atık toplama ve taşıma işkolunda çalışan işçilerde çalışma sürelerine göre tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı yönündeki puanlamalarda fark olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışma süresi dışındaki eğitim düzeyleri, yaş grupları, yaralanma ve/veya hastalık geçirme durumları, teknik eğitim almış olmak ve almamış olmak durumları ve güvenlik önlemlerinin alınmıyor ve alınmıyor olması durumlarına göre tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı ölçeğindeki puanlamalarda fark olduğu gözlemlenmiştir. Veriler incelendiğinde, eğitim düzeyi ilköğretim olan çalışanların, 40 yaş ve üzeri çalışanların ve çalışma süresi 5 yıldan daha az olan çalışanların tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı skoru ortalamalarının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla çalışanların eğitim düzeyi düştükçe, yaşları ilerledikçe ve çalışma sürelerinden dolayı işe alışma süreçleri uzadıkça çalışma ortamındaki risk ve tehlikelerle daha fazla karşılaştığı ve iş güvenliği bilincinin daha az olduğu görülmüştür. Anket sonuçlarına göre beklenilenin aksine teknik eğitim almış olanlar ve güvenlik önlemlerinin alınmıyor olduğunu belirten çalışanların tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı ortalaması daha yüksek çıkmıştır.

Anket çalışması kapsamında, çalışanlara yöneltilen tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı sorusunda gürültü en çok maruz kalınan tehlike etmeni olmuştur. Gürültüyü sırasıyla egzoz gazı, ağır yük kaldırma, haşere ve hayvanla karşılaşma, kesici ve/veya delici alet ve titreşime maruz kalma izlemektedir. Ankette yöneltilen bir diğer soru olan geçirilen yaralanma ve hastalıklar sorusunda kesilme ve/veya delinme yaralanmaları çalışanlar tarafından en çok karşılaşılan yaralanmadır. Kesilme ve/veya delinme yaralanmalarını sırasıyla ezilme ve incinme, cilt ve alerjik hastalıklar, belirtilmeyen diğer yaralanma ve hastalıklar, solunum hastalıkları ve kırık ve/veya çatlak yaralanmaları izlemektedir.

Evsel katı atık toplama ve taşıma iş kolunda çalışanlar sıklıkla çeşitli yaralanma ve kazalarla karşılaşmaktadır. Türkiye'de, dünyada kullanılmakta olan vakum teknolojisiyle çöp toplama ve tam otomatik çöp toplama sistemlerine geçen bir belediye henüz

bulunmamaktadır. Ankara'nın iki en büyük belediyesi olan Yenimahalle ve Çankaya Belediyelerince uygulanan yeraltı çöp toplama sistemi (daldırmalı çöp konteyner sistemi) Ankara'nın diğer ilçelerinde de yaygınlaşmaya başlamıştır. Kullanılan bu sistemin en büyük faydalarından biri işçilerin konteynerleri kaldırma, itme ve çekme gibi işler yapmayacağından dolayı ağır yük kaldırma tehlikesi ortadan kalkmasıdır. Diğer bir faydası ise işçilerin çöpe teması olmaması sonucunda kesilme ve delinme, solunum ve enfeksiyon hastalıkları tehlikeleri ortadan kalkacaktır. Yapılan bu araştırma sonucunda çöp toplama iş kolunda çalışanların en sık karşılaştığı yaralanma çeşitleri sırasıyla kesilme ve delinme, trafik kazaları ve solunum ve enfeksiyon hastalıkları olduğu ortaya çıkmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Florida örneğinde ise bu durum ezilme ve incinme, kırık ve çatlak şeklindedir [1].

IV. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında evsel katı atık toplama ve taşıma kolunda çalışanların iş sağlığı ve güvenliği koşulları değerlendirilmiş olup gelecekteki çalışmalara ve iyileştirmelere ışık tutulması amaçlanmıştır. Yenimahalle Belediyesinin bu işkolundaki çalışanlara uyguladığı anket verilerine göre yapılan hipotez testleri sonucunda eğitim düzeyi düşük olan ve 40 yaş ve üzeri olan çalışanların tehlike etmenleriyle karşılaşma sıklığı daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Belirtilen bu konular üzerine yoğunlaşılmalı ve gerekli eğitimler verilerek konuyu çözmeye yönelik farkındalık yaratılması gerekmektedir. Saha çalışması kapsamında, gürültü ve kesici/delici aletlerle karşılaşma açısından önlem alınması gerektiği görülmüştür.

Dünyada kullanılan çöp toplama ve taşıma sistemlerinin Türkiye'de kullanılması evsel katı atık toplama ve taşıma işkolunda çalışanların çalışma

koşullarının iyileştirilmesi açısından gereklidir. Teknolojideki yenilikler insan gücünü ortadan kaldırdığı gibi fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ergonomik risk etmenleriyle de karşı karşıya gelmemiş olacaktırlar. Türkiye'de çöp toplama sistemlerindeki yeni teknolojiler maliyetleri açısından çok fazla uygulanamasa bile en azından daldırmalı çöp konteyneri sisteminin yaygınlaştırılması amaçlanmalıdır. Genel olarak bütün yeni ve gelişmiş uygulamaların yüksek maliyetleri olsa da, insan hayatının paha biçilemez olduğu gerçeği asla unutulmamalıdır.

Son yıllarda ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği bilincinin yayılması evsel katı atık toplama ve taşıma işkoluna da önemli katkılar sağlamaktadır. Belediyeler, gelişen iş sağlığı ve güvenliği bilinciyle birlikte gelişen teknolojiyi kullanmaya başlamış olsalar da bu yeterli seviyede görülmemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yaşaroğlu CB. (2014) Evsel Katı Atık Toplama ve Taşıma İşkolunda Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının İyileştirilmesi. Uzmanlık Tezi, Ankara.
- [2] Waste Collection Solutions, http://www.envacgroup.com/products_and_services/our_products/movac-the-3rdgeneration-mobile-vacuum-system/technical_facts_movac (05.11.2019)
- [3] Hidalgo D., Juaristi J.L., Martín-Marroquín J.M., Corona F. (2018) Sustainable Vacuum Waste Collection Systems in Areas of Difficult Access. Spain.
- [4] İki Ortalama Arasındaki Farkın Önemlilik Testi, <https://docplayer.biz.tr/9878809-Iki-ortalama-arasindaki-farkin-onemlilik-testi.html>, (11.10.2019)

Yazılım Projelerinde Fazla Mesainin Proje Ekibi ve Projenin Yönetimine Etkisi

Effects of Overtime in Software Projects on Project Team and Project Management

Merve PINAR¹ , Büşra BÜYÜKTANIR^{1,2} , Şura EMANET¹ , Buket DOĞAN¹ 

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy / İSTANBUL

² Altınbaş Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 34217, Bağcılar/İSTANBUL

Öz

Yazılım projelerinde, çalışma takvimine göre projenin belirlenen sürede yetişme durumu ortaya çıkabilir. Böyle durumlarda fazla mesai yapılması çözüm olarak görülmektedir. Fakat çalışma saatlerinin artmasının proje sonucuna etkisi belirsizdir. Bu çalışmada fazla mesainin, çalışanlar ve proje üzerindeki etkilerinin incelenmesi için çalışanların fazla mesai ile çalışma saatlerinin arttırılması konusundaki düşüncelerini almak amacıyla, çevrimiçi katılım sağlanarak cevaplanacak şekilde anket hazırlanmıştır. 2019 Kasım ayı boyunca, çevrimiçi ortamda aktif olan ve 34 sorudan oluşan ankete, yazılım projelerinde görev alan 180 kişi katılmıştır. Çalışmanın sonucunda, fazla mesaiden dolayı çalışanların dinlenemedikleri, fiziksel sağlık sorunlarının ortaya çıktığı ve sosyal yaşamlarının olumsuz etkilendiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca art arda yapılan fazla mesailerin, çalışanların mesai saatleri içerisindeki üretkenliğini de olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fazla Mesai, Yazılım Mühendisliği, Yazılım Projeleri, Yazılım Kalitesi, Proje Yönetimi

Abstract

In software projects, it may happen that the project does not catch up within the specified time according to the work schedule. In such cases, overtime work is considered a solution. However, the effects of the increase of working hours on the result of the project are uncertain. In this study, a survey was prepared to be answered by providing online participation in order to get the opinions of the employees about increasing overtime and working hours to examine the effects of overtime on the employees and the project. During November 2019, 180 people who took part in software projects participated in the survey, which is active online and consists of 34 questions. As a result of the study, it appeared that employees could not rest due to overtime, physical health problems occurred and their social lives were negatively affected. In addition, successive overtime work has been found to negatively affect employees' productivity during working hours.

Keywords: Overtime work, Software Engineering, Software Projects, Software Quality, Project Management

I. GİRİŞ

Bir yazılım projesi geliştirme süreci başladığında, öncelikle planlama yapılarak projenin hedeflerinin gerçekleştirilmesi ve müşterinin taleplerinin karşılanması amaçlanır. Bunun için hangi yöntemle geliştirileceği, tamamlanması gereken işleri, gerekli olan kaynakları ve kısıtlamaları belirlemek gerekir. Planlama aşamasında öngörüler ile kaynak ve zaman planlaması yapılsa bile çeşitli sebeplerden dolayı proje planlandığı takvim ve gerçekleştirim hedeflerini yakalayamayabilir. Çünkü yazılım geliştirme projelerinde doğal bir belirsizlik vardır. Yeni teknolojiler, yeni iş süreçleri, yeni proje üyeleri ve diğer birçok çevresel faktör üzerindeki belirsizlik, projeyi ve proje ekibini etkiler. Örneğin; kapsam kayması ve gereksinimlerdeki değişimler proje çıktılarında, proje bütçesinde veya proje planlarında sapmalar oluşturabilir. Kalite, işlevsellik ve bütçe ile ilgili endişeler proje ekibi için önemli olmakla birlikte, proje takvimindeki sapmalar proje ile ilgili dikkat edilmesi gereken en kritik öğelerdir [1]. Örneğin; yazılım projelerinde, proje kilometre taşı tarihi yaklaştığında, önemli bir dönüm noktası tarihinden önceki dönemlerde proje ekibinin karşılaştığı ek bir baskı durumu söz konusu olmaktadır. Kilometre taşı tarihi yaklaşırken, proje ekibi tarih gelmeden önce artan bir faaliyet hacmini tamamlamaya çalışırken, yüksek kalitede proje çıktıları üretmeye de devam etmek durumundadır. Projede geciken bir kilometre taşı ise, proje ekibine daha yüksek iş yükleri ve oluşabilecek hatalar ile ilgili kaygıların oluşmasına neden olabilir [1]. Bu durumda; planlanan zamanı güncelleyerek daha önceden belirlenen takvimi ertelemek, ekibe yeni kaynak eklemek veya çalışanların fazla mesai yapması gibi çözümler bulunabilir [2]. Bu çözümlerin süreçleri yavaş ilerlediği ve ekibe alınmak istenen üyenin adaptasyon süreci olduğu için çoğu kez daha hızlı çözüm olarak düşünülen fazla mesai yapma yoluna gidilmektedir. Öte yandan ekip üyeleri projeye hakim olduğu için, dışa bağımlılığı az ve kolay bir çözüm

Sorumlu yazar: Merve Pınar, Tel: 0536 948 0124, e-posta: mervecevizci@gmail.com

Gönderilme: 30.01.2020, **Düzenleme:** 10.06.2020, **Kabul:** 08.08.2020

olan fazla mesai ilk akla gelen çözüm olarak düşünülür [3].

Yazılım süreçleri insan odaklı süreçler olduğu için çalışanların fazla mesaiden nasıl etkilendiklerinin belirlenmesi yazılım projelerinin başarılı ilerlemesi açısından önemli bir konudur. Literatürde fazla mesainin proje ekibinin dolayısıyla projenin verimliliği ve çalışanlar üzerinde olumsuz etki ettiğine dair çalışmalar [4, 5] yer almaktadır. Fakat yazılım geliştirme dikkat, üretkenlik ve motivasyon gerektiren bir süreç olduğu için fazla mesainin projeye ne şekilde etki edeceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Yazılım projelerinde fazla mesai faaliyetleri, yazılım geliştirmeyi insan merkezli bir faaliyet olarak ele aldığımızda da önemli bir konudur. Bu faaliyetlerden etkilenen yazılım geliştiricilerin hem fiziksel hem de psikolojik olarak etkilendiğine dair farklı ülkelerden çalışmalar bulunmaktadır [6]. Küresel yazılım dünyasında her gün giderek daha fazla önem kazanan ülkemizdeki yazılım çalışanlarının fazla mesaiden nasıl etkilendiklerine dair literatürde sınırlı çalışma [7] yer almaktadır. Her dönem ve her ülkenin farklı çalışma kültürü olduğundan ve fazla mesaiden çalışanların etkilenme durumları da farklılık göstereceğinden dolayı bu alanda ülkemizdeki durumun ortaya konması önemlidir. Bu amaçla, bu çalışma ülkemizde yazılım alanındaki çalışanların fazla mesaiden ne şekilde etkilendiklerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışmanın sonuçları; yazılım proje yöneticileri ve takım liderlerinin yazılım projelerinde daha verimli görev planlaması yapmasını sağlarken, rekabet gücü yüksek yazılımlar üretilmesi için daha doğru kararlar almasını da sağlayabilecek çıktılar üretecektir.

Bu çalışmada; yazılım alanında yukarıda önemi belirtilen; ülkemizdeki yazılım çalışanlarının fazla mesai konusundaki görüşlerinin ortaya konması için hazırlanan anket kullanılarak, fazla mesainin verimliliğe, üretkenliğe, kaliteye ve kişisel bireysel hayatlarına olan etkilerinin ortaya konması sağlanmaktadır.

1.1. İlgili Çalışmalar

Fazla mesai, iş kanununa göre çalışanlar için haftalık belirlenen saati aşan çalışmalardır. Yazılım projelerinde, proje belirlenen takvimde bitmediği zaman ilk akla gelen çözümlerden biri fazla mesaidir. Bu yüzden fazla mesainin yazılımdaki etkisini araştırmak güncel bir konudur. Literatür çalışmalarında fazla mesainin proje olduğu gibi proje çalışanlarının sosyal ve kişisel hayatına da olumsuz etki ettiği gözlemlenmiştir. Öte yandan çalışmada kullanılan metodolojinin fazla mesaiyi etkilediği ortaya çıkmıştır. İlgili çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Türkdoğan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, fazla mesainin verimliliği olumsuz yönde etkilediği ve fazla mesai yapmanın, mesai saatleri dışındaki planlı olarak yapılması gereken durumlar dışında fazla mesai

yapmamaktan daha kötü bir seçim olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışma, fazla mesainin fiziksel ve psikolojik sağlık sorunları olasılığını arttırdığını bunun yanında aile ve sosyal yaşamlarını da olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir [7].

Fazla mesainin proje üzerindeki etkilerini inceleyen Chris ve Frank yaptıkları bir çalışmada yazılım projelerinin geliştirilme sürecinde Scrum metodolojisi kullanıldığında, proje çalışanlarının çalışma takvimine uygun hızda hareket ettiği için fazla mesai sürelerinin azaldığını görmüşlerdir. Buna paralel olarak müşteri memnuniyetinde de artış görülmektedir [8].

Kusurları önlemenin onları düzeltmekten çok daha az zaman aldığı ve maliyetinin daha düşük olduğu bilinmektedir. Extreme Programming'in kurucularından Jeffries tarafından yayınlanan bir makalede hataları tespit etmenin ve düzeltilmenin büyük sistemler için en pahalı maliyet unsuru olduğu ve diğer tüm faaliyetlerden daha fazla zaman aldığı belirtilmiştir. Ayrıca son yapılan çalışmalar; yorgun halde ve stres altında çalışan programcıların çok büyük hatalar yapma olasılığının iki katına çıktığını, küçük hatalar yapma olasılığının çok daha yüksek bir orana sahip olduğunu göstermektedir [9].

Sıkışıklık Zamanı (Crunch Time) oyun endüstrisinde kullanılan ve aşırı yoğun zamanları tarif eden bir terimdir. Petrolio'ya göre sıkışıklık zamanı genellikle nihai ürün ortaya çıkmadan önceki dönemi ifade etmektedir. Çoğu araştırma oyun sektöründe sıkışıklık zamanının gerekli olduğunu ve bunun bir sektör kültürü olduğunu düşünmektedir. Ancak fazla mesaiden kaynaklı uykusuzluk, sektör çalışanlarının ruh sağlığını ve kişisel ilişkilerini olumsuz yönde etkilemektedir. Çalışanlar, proje sonunda meydana gelen ürüne kişisel bir yatırım yaptıkları için, kötü sonuçlarırsa kendilerini suçlamaktadır. Bu durumlar, kişilerin sektör değiştirmesine sebep olmaktadır. Çevik geliştirim prensipleri kullanılarak proje yönetilmeye başlandığında, bu zaman azalmış ama yine de devam etmiştir [10].

Akula ve Cusick yaptıkları çalışmada yoğun bir planlama ile yazılım kalitesi üzerindeki negatif etkisi arasında Şekil 1'de görüldüğü gibi bir bağlantı kurmuşlardır. Yoğun planlamanın fazla mesaiye sebep olduğunu tespit etmiş ve fazla mesaiye bağlı olarak stresin arttığını gözlemlenmişlerdir. Stres, çalışan üzerinde olumsuz etkilerini göstermiş ve yazılımda hatalara sebep olmuştur.

Yoğun planlama → Fazla mesai → Stres → Hata

Şekil 1. Yoğun planlama ile yazılım kalitesinin bağlantısı

Zaman yönetimi, teknoloji ve verimlilik üzerine danışmanlık veren kişisel üretkenlik uzmanı Duncan'a

göre stresin sebebi birçok faktör olabilir. Düzensizlik, net olmayan hedefler, çok fazla kişisel telefon görüşmesi, ayrık süreçler, belli bir iş rutinin olmaması, zayıf planlama, erteleme, odaklanma ve eğitim eksikliği stres sebeplerinin bazılarıdır [9].

Fazla mesainin kişisel etkileri incelendiğinde ise aşırı veya zorunlu mesai yapmanın sadece programcı için değil programcının ailesi ve sosyal hayatı için de rahatsız edici bir durum olduğu görülmüştür. Bu durum aile bireylerinin çalışmasını olumsuz yönde etkileyebildiği gibi, rol çatışması ortaya çıkartabilir. Aşırı iş yükü, ev sorumlulukları ve çocuk bakımı için eşit olmayan bir iş bölümüne sebep olabilir. Ek olarak, proje baskısından kaynaklanan huzursuzluk veya yetersiz uykudan kaynaklanan huzursuzluk, küçük sorunların bile genellikle çatışmaya yol açmasıyla sonuçlanan hassas bir ruh hali oluşturabilir [1].

Nishikitani ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, fazla mesai, uyku süresi ve çalışılan iş türünün çalışanların fiziksel ve zihinsel durumları üzerindeki etkilerini araştırmak için bir bilişim teknolojisi şirketinde yazılım mühendisi olarak çalışan 377 kişi üzerinde kesitsel bir çalışma yürütülmüştür. Fazla mesai yapmanın psikofiziksel sonuçları, Hamilton Depresyon Ölçeği (HDS), Duygu Durum Profili (POMS), majör fiziksel semptomlar ve fazla mesai çalışma süre verileri ile belirlenmiştir. Tek değişkenli bir analizde, fazla mesainin HDS skorları, POMS öfke-düşmanlık skorları ve toplam fiziksel semptom sayısı ile önemli ölçüde ilişkili olduğu görülmüştür [11].

Farklı bakış açısına rastlanan bir çalışmada hem proje yöneticisi hem de ekip üyesi olan bir çalışan, projeyi daha önce sunmak ve yönetimi etkilemek için 16 saat/gün çalıştığını ve iyi bir rol model olduğunu düşünmektedir. Ayrıca takım arkadaşlarının da fazla mesaiye kalmasını sağlayarak gelir elde etmeleri konusunda katkı sağladığına inanmaktadır [1].

Literatürde fazla mesainin çalışanlar üzerindeki etkilerini konu alan çalışmalar incelendiğinde fazla mesainin, proje sonucuna, çalışanların fiziksel ve zihinsel durumlarına, sosyal ve özel hayatlarına etkilerinden bahseden farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada ise yazılım projelerinde yer alan çalışanlara fazla mesai etkilerini ölçmek için anket soruları yöneltilmiş ve bu etkilerin mevcut durumunun devam ettiği görülmüştür. Fazla mesainin proje ve proje çalışanları üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğu ortaya çıkmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Yazılım proje sürecinde, öngörülen veya görülemeyen aksamalardan dolayı projenin yetişmemesi durumu ortaya çıkmaktadır. Böyle bir durumda fazla mesai düşünülen çözümlerden biridir. Bu çalışma ile fazla mesainin çalışanlar ve proje üzerindeki etkilerinin

ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu amacı gerçekleştirmek için ilk olarak yazılım projelerinde yer alan proje ekibinin fikir ve görüşleri alınmıştır. Verimlilik, üretkenlik ve kalite sorularının yanında fazla mesainin kişiler üzerindeki etkileri de incelendiğinden dolayı kişisel bilgiler ile ilgili sorular da ankette bulunmaktadır.

Bu amaçla oluşturulan araştırma soruları aşağıdaki gibidir:

1. Katılımcıların kişisel bilgileri ve organizasyon yapısı nedir?
2. Katılımcılara göre fazla mesainin verimliliğe, üretkenliğe, kaliteye etkisi ile ilgili görüşleri nelerdir?
3. Fazla mesainin çalışanlar üzerine etkilerine yönelik görüşleri nelerdir?

2.1. Yöntem

Fazla mesainin proje ve proje elemanlarına etkilerinin ortaya çıkartılması için anket soruları oluşturulurken Türkdoğan ve diğerleri tarafından fazla mesainin verimlilik üzerindeki etkilerinin incelendiği 2017'de gerçekleştirilmiş çalışmadan faydalanılmıştır [7]. Literatür taraması sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda iki alan uzmanı tarafından kapsam geçerliliği değerlendirilen 34 soruluk anket hazırlanmıştır. Anket; ekip çalışanları ile ilgili kişisel bilgiler, organizasyon yapısı, fazla mesainin verimliliğe, üretkenliğe, kaliteye etkisi ve ekip çalışanları üzerindeki kişisel etkileri hakkında bilgi edinme amaçlı sorulardan oluşmaktadır.

Yazılım projelerinde yer alan proje ekibinden fikir ve görüşler almak amacı ile oluşturulan anket, çevrimiçi ortamda "www.onlineanketler.com" internet sitesinde katılımcılara sunulmuştur. 2019 Kasım ayı boyunca çevrimiçi ortamda aktif olan anketin, LinkedIn, Edmodo ve Facebook aracılığı ile katılımcı ağının genişletilmesi sağlanmıştır. Nihai olarak ankete yazılım projelerinde yer alan 180 kişi katılmış ve alınan cevaplar analiz edilmiştir.

Anket çalışması, araştırma konusunun içeriğini belirten açıklama ile başlamaktadır. Anketin ilk bölümünde fazla mesaiye kalan ekip çalışanlarının cinsiyeti, yaşı, medeni hali, varsa çocuk sayısı gibi demografik bilgileri toplanmaktadır. İkinci bölümünde, çalışanın yetkinlikleri, deneyimi, proje ekibindeki görevi, çalıştığı sektör, proje yönetiminde kullanılan metodoloji ve günlük çalışma saatini belirlemeye yönelik sorular sorulmuştur. Çalışmanın genel amacı fazla mesainin, çalışanlar ve proje üzerindeki etkilerini gözlemlemek olduğu için anketin diğer bölümlerinde fazla mesai ve fazla mesainin verimlilik, üretkenlik, ekip çalışanları ve projenin kalitesi üzerindeki etkileri konusunda katılımcı görüşlerini ortaya çıkartacak sorular yer almaktadır. Fazla mesaiye yönelik ise katılımcılardan, projenin takvime göre ilerleyip ilerlemediği, takvime göre geç kaldığında fazla mesainin yapılıp yapılmadığı ve fazla mesainin ana sebebini soran soruların cevapları alınmıştır.

Ankette, iki tane evet/hayır türünde, bir adet 20 maddelik beşli Likert türünde ve 12 tekli seçim listeleri türünde toplam 34 soru tipi yer almaktadır.

Beşli Likert soru türünün cevapları sırası ile "Kesinlikle Katılmıyorum", "Katılmıyorum", "Kararsızım", "Katılıyorum", "Kesinlikle Katılıyorum" şeklindedir. Bu soruları çözen katılımcıların cevaplarına göre, aritmetik ortalamının hangi cevap aralığına denk geldiğini belirlemek için, her bir puan aralığı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

1 – 1,8 puan aralığı "Kesinlikle Katılmıyorum" cevabına, 1,8 – 2,6 puan aralığı "Katılmıyorum" cevabına, 2,6 – 3,4 puan aralığı "Kararsızım" cevabına, 3,4 – 4,2 puan aralığı "Katılıyorum" cevabına, 4,2 – 5 puan aralığı "Kesinlikle Katılıyorum" cevabına denk gelmektedir. Bu soru tipi için verilen cevapların yorumlanması belirtilen puan aralığına göre yapılmaktadır.

2.2. Örneklem

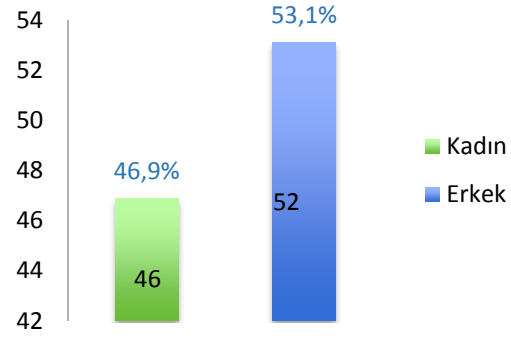
Çalışmanın örneklemini yazılım projelerinde yer alan; yazılım mühendisi, test mühendisi, proje yöneticisi, analist, danışman, kalite güvence uzmanı ve diğer proje ekibi çalışanları oluşturmaktadır. Çalışmada doğru sonuçlara varabilmek adına, anket öncelikle fazla mesai yapıp yapılmadığı sorusu ile başlamaktadır. Fazla mesai yapmayan katılımcıların anketi ilk soruda sonlandırılmaktadır. Toplamda 180 katılımcının bulunduğu ankette 139 katılımcı fazla mesai yaptığını belirtirken 41 katılımcı ise fazla mesai yapmadığını belirtmiştir. Fazla mesai yaptığını söyleyen 139 kişi içinden 97 katılımcı anket sorularının hepsini cevaplamıştır. Çalışma 97 kişinin cevaplarına göre değerlendirilmiştir. 97 katılımcının 46'sı kadın 51'i erkektir.

2.3. Bulgular

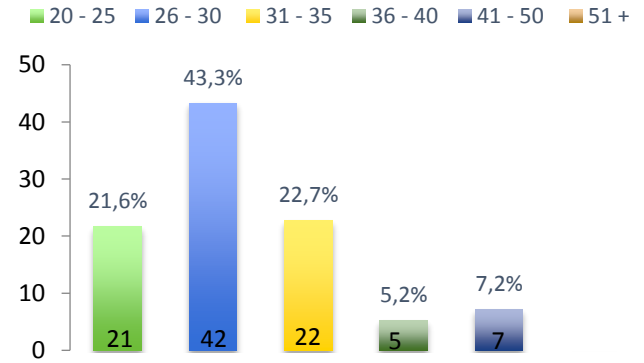
Fazla mesainin proje ve ekip çalışanları üzerindeki etkilerini tespit edebilmek amacıyla yapılan ankette 180 kişilik katılımcının %23'ünün fazla mesai yapmadığı, %77'sinin ise fazla mesai yaptığı tespit edilmiştir.

Ankete katılan 139 kişiden 97'si anketi tamamladığı için bundan sonraki oranlar 97 katılımcı üzerinden değerlendirilecektir.

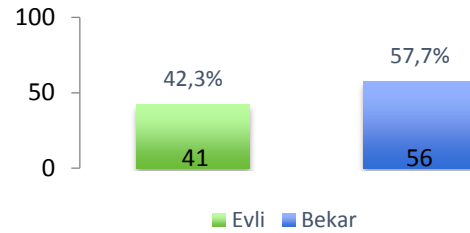
Şekil 2'de görüldüğü gibi fazla mesaiye kalan çalışanların %47'si kadınlardan, %53'ü ise erkeklerden oluşmaktadır. Şekillerde bulunan sütunların içinde frekans değerleri verilmiştir. Katılımcıların 26 - 30 yaş arasında yoğunluk gösterdiği ve 51 yaş üstü katılımcının bulunmadığı Şekil 3'te görülmektedir. Kadın katılımcıların oranı 20 - 30 yaşları arasında yoğunluk gösterirken, erkek katılımcıların oranı 26 - 35 yaşları arasında yoğunluk göstermektedir.



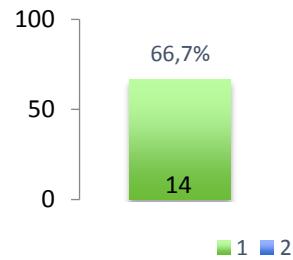
Şekil 2. Cinsiyet oranı



Şekil 3. Yaş oranı

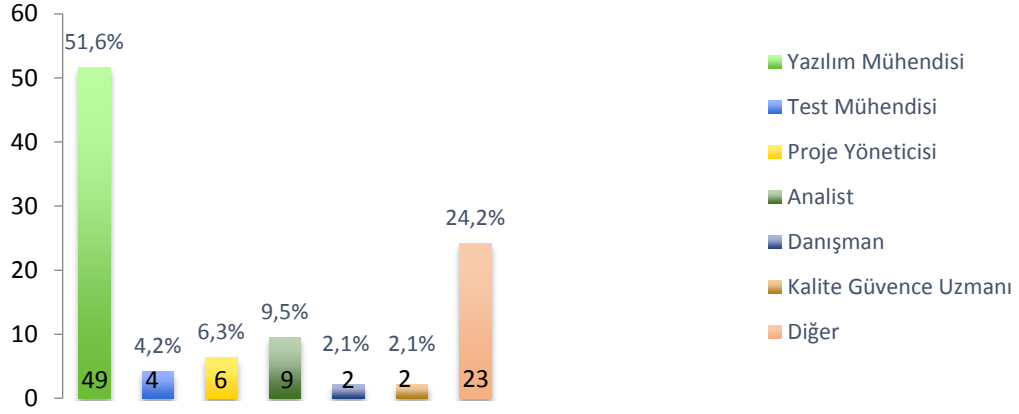


Şekil 4. Medeni hali oranı



Şekil 5. Çocuk sayısı

Katılımcıların medeni hali ve çocuk sayısını içeren anket soruları ile aile faktörünün fazla mesaide nasıl bir etken olduğu tespit edilmek istenilmiştir. Çalışanların %58'inin bekar %42'sinin ise evli olduğu Şekil 4'te görülmektedir. Çocuk sayısı sorusu sadece 21 kişi tarafından olumlu yanıtlandığı için Şekil 5'teki yüzdeler 21 kişi üzerinden değerlendirilmiştir.



Şekil 6. Proje ekibindeki görev oranları

Katılımcıların proje içindeki görevlerinin çok yüksek oranda yazılım mühendisliği olduğu görülmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi yazılım mühendisliği dışında test mühendisi, analist, proje yöneticileri gibi başka görev tanımları olan ekip üyeleri de katılım sağlamıştır.

11 – 16 yıl ve daha üstü deneyime sahip katılımcıların diğer gruba göre daha çok proje yöneticisinin bulunduğu, yüksek oranda çevik yazılım geliştirme metodlarının kullanıldığı, gönüllü olarak fazla mesai yaptığı ve diğer gruptan farklı olarak operasyon ve uygulama geçişlerine destek olmak için fazla mesaiye kaldığı görülmektedir.

Tablo 1. Sektörlerin dağılımı

Sektör	%
Bilgi Teknolojileri	51,5
Finans	4,1
Güvenlik Teknolojileri	1
Oyun Teknolojileri	1
Sağlık	4,1
Savunma Sanayi	10,3
Sigorta	1
Telekomünikasyon	6,2
Diğer	20,6

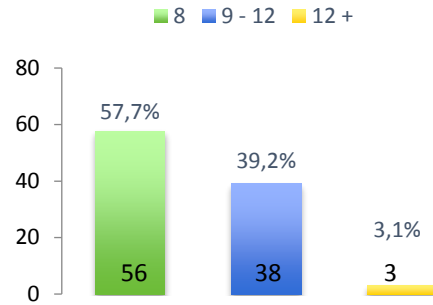
Tablo 2. Sektördeki deneyim oranları

Deneyim	%
1 – 3	45,4
4 - 6	26,8
7 - 10	14,4
11 - 15	7,2
16 +	6,2

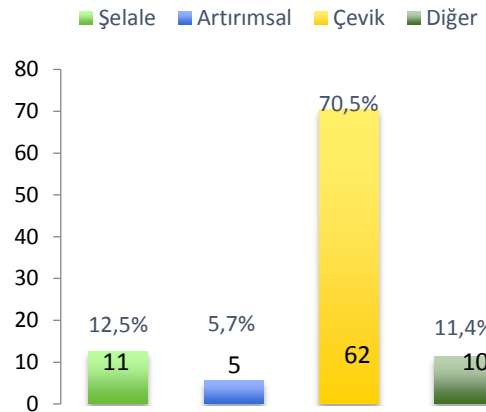
Tablo 1'de sektör dağılımlarının oranları verilmiştir. Ankete katılanların yarısı Bilgi Teknolojileri alanında çalışmaktadır. Diğer yarısı ise sağlık, güvenlik, oyun ve telekomünikasyon gibi yazılım projelerinin geliştirildiği sektörlerde çalışmaktadır.

Sektör deneyiminde yüzdelik dilimi en fazla olan grubun 1 – 3 yıl olduğu Tablo 2'de görülmektedir. Bununla birlikte 1 – 10 yıllık deneyime sahip gruplarda bulunan katılımcıların yüksek oranda bilgi teknolojilerinde çalıştıkları, yaklaşık %70 oranında çevik (agile) yazılım geliştirme metodlarının kullanıldığı, fazla mesainin gönüllü olarak yapıldığı ve projenin belirlenen takvime göre geç kalınmasından dolayı yapıldığı görülmektedir.

Çalışanların rutin mesai saatlerine ait grafik Şekil 7'de görülmektedir. Büyük çoğunluk 8 saat mesai yaparken 12 saati aşan mesai saatine sahip katılımcılar ise %3'lük dilimi oluşturmaktadır. Şekil 8'de katılımcıların %70'inin çevik yazılım geliştirme metodları ile yazılım geliştirdiği görülmektedir.



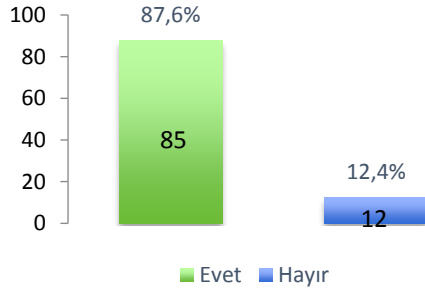
Şekil 7. Mesai saatleri oranı



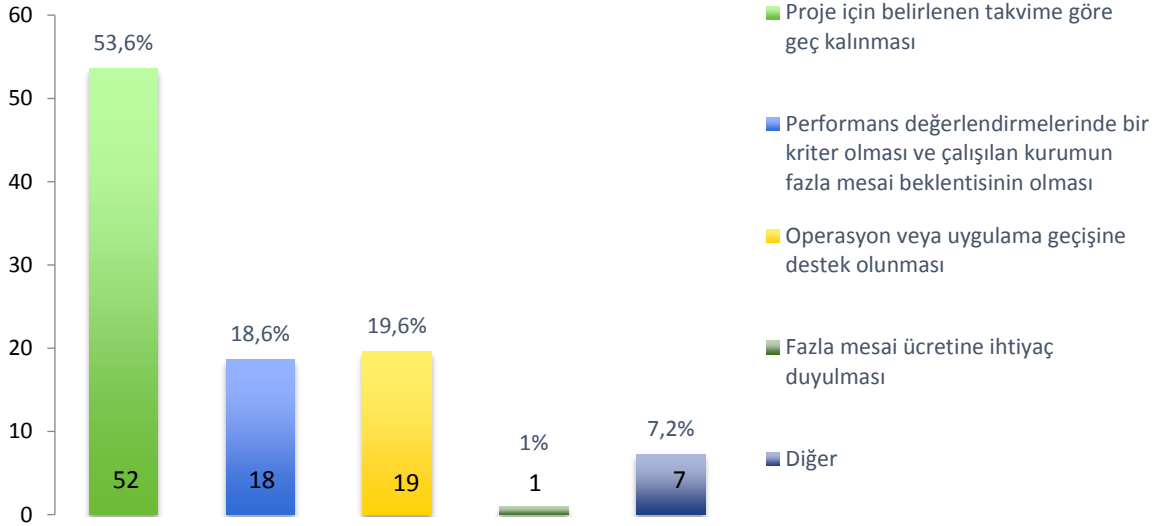
Şekil 8. Metodoloji dağılımı

12 saat ve daha fazla mesai yapan çalışanların Şelale (Waterfall) metodolojisi ile yazılım geliştirdikleri ve gönüllü olarak fazla mesai yaptıkları gözlemlenmiştir. 8 saat mesai yapan çalışanların %75'inin çevik yazılım geliştirme metodolojisi ile yazılım geliştirdiği ve %65'i gönüllü mesai yaparken %35'inde kurum fazla mesaiyi zorunlu tuttuğu için fazla mesai yapmaktadır.

Şekil 9'da da görüldüğü gibi katılımcıların çalıştıkları kurumlarda %88 oranda takvime uygun gidilip gidilmediği kontrol edilmektedir. %13'lük kısmı oluşturan takvimin takip edilmemesi durumu çalışanlarda belirsizliğin verdiği bir huzursuzluk oluşturmaktadır. Bu %12'lik dilimde olanların yaklaşık %60'ı fazla mesaiye kaldıklarını, bu nedenle dinlenemediklerini ve fazla mesainin psikolojik sorunlara (depresyon, anksiyete vb.) sebep olduğunu düşünmektedirler.



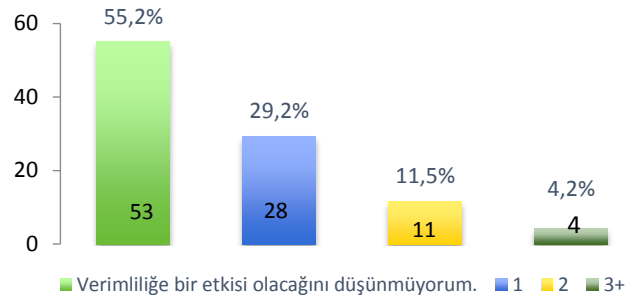
Şekil 9. Takvim takibi oranı



Şekil 11. Fazla mesai sebepleri

Tablo 3. Katılımcıların Görüşleri

No	Anket Soruları	Kesinlikle Katılmıyorum		Katılmıyorum		Kararsızım		Katılıyorum		Kesinlikle Katılıyorum		Ortalama
		f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	
1	Fazla mesai için ücret almak beni motive ediyor.	3	3,13	8	8,33	12	12,5	30	31,25	43	44,79	4,06
2	Fazla mesai için ücret almak iş yorgunluğumu unutturuyor.	11	11,46	29	30,21	15	15,63	21	21,88	20	20,83	3,1



Şekil 10. Fazla mesainin verimliliğe etkisinin dağılımı

Fazla mesaiye gönüllü olarak kalan ve büyük çoğunluğu oluşturan katılımcı oranının %67 olduğu ve genel sebebin projede planlanan takvime göre geç kalınması olduğu görülmektedir. Ayrıca %55'lik dilim fazla mesainin verimliliğe etkisi olmadığını düşünürken %35'lik dilim haftada 1 günlük fazla mesainin verimli olabileceğini düşünmektedir. Zorunlu olarak fazla mesaiye kalanlarda da durum benzerlik göstermektedir. %60 oranında verimliliğe etkisi olmadığı ve %20 oranında da 1 günlük fazla mesainin verimli olabileceğini düşünmektedir [Şekil 10].

Şekil 11'de görüldüğü gibi fazla mesai yapmadaki sebebin yüksek oranda, projenin beklenen takvimde ilerlememesi olduğu görülmektedir. %20'lik kesim de operasyon veya uygulama geçişlerine destek olmak amacıyla fazla mesai yaptıklarını ifade etmişlerdir.

3	Fazla mesai ücreti aldığım da gönüllü olarak çalıştığımı düşünüyorum.	12	12,63	26	27,37	23	24,21	17	17,89	17	17,89	3,01
4	Fazla mesai saatlerinde iş arkadaşların tarafından daha az bölündüğüm için daha üretken olduğumu düşünüyorum.	5	5,21	14	14,58	10	10,42	40	41,67	27	28,13	3,73
5	Fazla mesai saatlerinde bulunduğum ortamın daha sessiz olmasının üretkenliğimi arttırdığını düşünüyorum.	4	4,17	14	14,58	11	11,46	37	38,54	30	31,25	3,78
6	Fazla mesai saatlerinde iş için danışılacak kişilerin kurumda olmayışının üretkenliğimi azalttığını düşünüyorum.	10	10,53	19	20	17	17,89	39	41,05	10	10,53	3,21
7	Fazla mesai saatlerinde yorgunluğumun üretkenliğimi azalttığını düşünüyorum.	7	7,29	7	7,29	16	16,67	38	39,58	28	29,17	3,76
8	Fazla mesai yapılan günden hemen sonraki gün mesai saatleri içerisindeki üretkenliğimin olumsuz etkilendiğini düşünüyorum.	1	1,04	12	12,5	14	14,58	38	39,58	31	32,29	3,9
9	Art arda yapılan fazla mesailerin, mesai saatleri içerisindeki üretkenliğimi olumsuz etkilediğini düşünüyorum.	1	1,04	1	1,04	7	7,29	40	41,67	47	48,96	4,36
10	Fazla mesai saatleri içerisinde daha fazla hata yaptığımı düşünüyorum.	6	6,25	36	37,5	25	26,04	18	18,75	11	11,46	2,92
11	Fazla mesai yaptığım gün (ler)den sonra mesai saatlerinde hata yapma ihtimalimin arttığını düşünüyorum.	4	4,17	17	17,71	30	31,25	31	32,29	14	14,58	3,35
12	Fazla mesaiye kaldığım da dinlenemediğimi düşünüyorum.	2	2,08	5	5,21	8	8,33	42	43,75	39	40,63	4,16
13	Fazla mesainin fiziksel sağlık sorunlarına sebep olduğunu düşünüyorum.	3	3,13	7	7,29	18	18,75	37	38,54	31	32,29	3,9
14	Fazla mesainin stresimi artırdığını düşünüyorum.	4	4,17	12	12,5	9	9,38	39	40,63	32	33,33	3,86
15	Fazla mesainin psikolojik sorunlara (depresyon, anksiyete...vb.) sebep olduğunu düşünüyorum.	4	4,17	10	10,42	20	20,83	34	35,42	28	29,17	3,75
16	Fazla mesaiye kalmamanın motivasyonu olumsuz etkilediğini düşünüyorum.	5	5,21	12	12,5	14	14,58	34	35,42	31	32,29	3,77
17	Gönüllü olarak yapılan fazla mesainin motivasyonumu düşürmediğini düşünüyorum.	2	2,08	11	11,46	16	16,67	45	46,88	22	22,92	3,77
18	Fazla mesainin zararlı alışkanlıklara (sigara, alkol, kötü beslenme,..vb.) yönelmeye sebep olduğunu düşünüyorum.	14	14,58	29	30,21	13	13,54	25	26,04	15	15,63	2,98
19	Fazla mesaiye kalmamanın aile yaşamımı olumsuz etkilediğini düşünüyorum.	5	5,21	7	7,29	13	13,54	34	35,42	37	38,54	3,95
20	Fazla mesaiye kalmamanın sosyal yaşamımı olumsuz etkilediğini düşünüyorum.	4	4,17	6	6,25	3	3,13	39	40,63	44	45,83	4,18

Tablo 3'te katılımcıların görüşleri yer almakta ve 4,36 ile "Art arda yapılan fazla mesailerin, mesai saatleri içerisindeki üretkenliğimi olumsuz etkilediğini düşünüyorum." görüşü en yüksek ortalamaya sahiptir. 4,18'lik ortalama ile "Fazla mesaiye kalmamanın sosyal yaşamımı olumsuz etkilediğini düşünüyorum" görüşüne de yüksek oranda destek verilmiştir. 2 ve 3. sorularda, çalışanların fazla mesai ücreti alması

durumunda nasıl etkilendikleri ölçülmek istenmiş ve sonucun "Kararsızım" olduğu ortaya çıkmıştır. Fakat 1. soruda ücret almanın çalışanları motive ettiği görülmektedir. Bu durumda fazla mesai ücretinin çalışanların yorgunluklarını unutturmadığı ve gönüllü çalışmaya teşvik etmediği fakat kısa vadede motive edebildiği sonucuna varılabilir. 10 ve 11. sorular yazılımın kalitesine yönelik hata yapma oranını

sorgulamakta olup sonuç “Kararsız” çıkmıştır. Bu da fazla mesainin hata oranını yüksek miktarda arttırmadığını göstermektedir.

6. soruda katılımcılar, fazla mesai sebebiyle danışılacak kişilerin kurumda olmamasının üretkenliğe etkisinde “Kararsız” olduklarını, 4 ve 5. sorularda ise iş arkadaşları tarafından daha az bölündükleri için daha üretken oldukları, sessizliğin üretkenliği arttırdığı fikrine katıldıklarını ifade etmişlerdir. Bu sonuçlardan yola çıkarak çalışanların daha sessiz ve tenha bir iş ortamında daha üretken ve verimli çalışabildikleri söylenebilir.

7 ve 8. Sorular çalışanların üretkenliklerine yönelik sorulardır. Bu sorularda çalışanlar mesai sonrasındaki günlerde ve fazla mesainin verdiği yorgunluk sebebiyle üretkenliklerinin olumsuz etkilendikleri fikrine katıldıklarını belirtmişlerdir. Bu durum aslında mesai saatleri içinde daha kısa sürede bitirilebilecek hedeflerin daha uzun süreler alabileceğine işaret etmektedir.

12, 13, 14, 15, 16, 19 ve 20. sorularda çalışanların fazla mesainin fiziksel ve psikolojik sorunların olasılığını arttırdığı, beraberinde sosyal yaşamın ve aile yaşantısının da olumsuz etkilendiği fikrine katıldıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca fazla mesai sebebiyle streslerinin arttığı ve motivasyonlarının da düşmesi konusunda ortak fikre sahiptirler. Kurumun fazla mesaiden beklentisi; çalışanların stres, motivasyon düşüklüğü, sağlık ve çevrelerine yansıyan olumsuz etkileri ile baş etmeye çalışması sebebiyle projeye yansımamaktadır. Hatta bu durum takvimin daha da uzamasına sebep olabilir.

Evli ve bir çocuk sahibi çalışanlar fazla mesainin, çok yüksek oranda, aile yaşantısını olumsuz yönde etkilediğini, streslerinin arttığını ve dinlenemediklerini belirtmişlerdir. Ayrıca bekar çalışanlar da fazla mesai sebebiyle sosyal yaşantılarının olumsuz etkilendiğini ve dinlenemediklerini ifade etmişlerdir.

Çalışanlar gönüllü olarak mesai yaptıklarında motivasyonlarının düşmediğini 17. soruda belirtmişler ve ayrıca fazla mesai yaparken daha fazla hata yaptıklarını soran 10. soruya da katılmadıklarını ifade etmişlerdir.

18. soruya bakıldığında sigara, alkol vb. kötü alışkanlıklara eğilimde çalışanlar kararsız olduklarını belirtmişlerdir.

III. SONUÇ VE TARTIŞMA

Araştırmada fazla mesainin yapılma sebepleri ve yazılım projeleri üzerindeki verimlilik etkisi çalışanların görüşleri yardımıyla incelenmiştir. Türkdoğan ve diğerleri tarafından fazla mesainin verimlilik üzerindeki etkilerinin incelendiği 2017’de gerçekleştirilmiş çalışmada da fazla mesainin, aile ve sosyal ilişkilerde sıkıntılara neden olduğu, fiziksel ve

psikolojik rahatsızlıkların olasılığını arttırdığı ve üretkenliğin azaldığı konularında benzer sonuçlar elde edilmiştir [7]. Bu çalışmada, genç bir katılımcı kitlesi üzerinden araştırma yapılmıştır. Dolayısıyla bu çalışma yazılım sektöründe çalışan genç kitlenin görüşlerini yansıtması açısından önemlidir.

Fazla mesai yapılma sebeplerine bakıldığında katılımcıların %54’ü belirlenen takvime göre geç kalması, %20’si operasyona ve uygulama geçişlerine destek olması, %19’u da performans değerlendirmelerinde bir kriter olması sebebiyle fazla mesai yaptıklarını belirtmişlerdir. Çoğunlukla takvime göre geç kalınması, daha gerçekçi bir takvimlendirme, işin yetkinlikler göz önüne alınarak doğru kişilere atanması, doğru proje yönetim metodolojisinin seçilmesi gibi konuların üzerinde durulması gerektiğini göstermektedir.

Sonuçlara göre; üretkenlik, yazılım kalitesi, çalışanlar üzerindeki kişisel etkiler çerçevelerinden verimlilik etkilerinin incelendiği fazla mesainin istenen getiriyi sağlamadığı görülmüştür. İstenen getiriyi sağlamamasının yanı sıra yazılımın kalitesi, çalışan kişilerin zihinsel ve fiziksel sağlıklarını tehdit etmesi, üretkenliği düşürmesi, sosyal ve aile yaşantısının kötü etkilenmesi gibi olumsuz etkilerinin bulunmasından dolayı bir yazılım projesi için toplam verimlilik olarak iyi sonuçlar ortaya çıkarmadığı görülmektedir. Fazla mesainin planlı bir şekilde yapılması gerektiği durumlar dışında fazla mesai yapmamak daha iyi bir seçim olarak karşımıza çıkmaktadır.

Üretkenlik çerçevesinden baktığımızda, fazla mesai yapılan saatlerde çalışanların normal mesai saatlerine göre daha az üretken olduğu görülmektedir. Katılımcıların %70’i yorgunluk sebebiyle, %52’si iş için danışılacak kişilerin kurumda olmayışı sebebiyle fazla mesai yapılan saatlerde daha az üretken olduklarını belirtmişlerdir. Fazla mesainin akabindeki mesai saatleri üzerinde de olumsuz etkisi bulunmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre katılımcıların %72’si fazla mesai yapılan günden hemen sonraki gün üretkenliklerinin önemli bir oranda düştüğünü belirtirken %15’i üretkenliklerinin değişmediğini belirtmişlerdir. Bu durum da fazla mesai yapan çalışanlar aynı saat miktarında normal mesai saatlerinde çalışırlarsa üretkenlik artışı fazla mesai yapılarak elde edilecek artıştan daha fazla olacaktır. Ayrıca katılımcıların %90’lık kısmı art arda yapılan fazla mesainin üretkenliği olumsuz yönde etkilediğini düşünmektedir.

Kalite çerçevesinden baktığımızda, katılımcıların %47’si fazla mesai yapılan günlerin akabindeki mesai saatlerinde, hata yapma ihtimallerinin önemli ölçüde arttığını belirtirken %22’lik bir kısmı fazla mesainin hata yapma olasılığına bir etkisinin olmadığı görüşündedir.

Dinlenme ve rahatlama eksikliklerinin öncelikle vücudun çeşitli yerlerinde ağrı oluşumuna sonrasında ise anksiyete ve depresyon gibi zihinsel sağlık problemlerine sebep olduğu bilinmektedir [11]. Bu bağlamda fazla mesainin ekip üyeleri üzerindeki kişisel etkilerine bakıldığında, çalışanların fiziksel ve zihinsel sağlıkları üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu söylenebilir. Katılımcıların %84'ü fazla mesai sebebiyle dinlenme eksikliği yaşadıklarını, %74'ü stres seviyelerinin arttığını, %67'si da motivasyon düşüklüğü yaşadıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca katılımcıların %65'i fazla mesainin fiziksel ve zihinsel sağlık problemlerini tetiklediği görüşündedir.

Günlük çalışma saatlerinden fazla çalışılan saatler, sosyal yaşam saatlerinden çaldığı için doğrudan çalışanların yaşamlarını da etkilemektedir. Katılımcıların %74'ü fazla mesai sebebiyle aile yaşantısının, %86'sı da sosyal yaşantısının olumsuz etkilendiği yönünde görüş bildirmişlerdir. Olson ve diğerleri çalışmalarında proje baskısı veya yetersiz uyku kaynaklı huzursuzlukların aile içinde büyük çatışmalara dönüşebileceğini ve eşler arasında bir rol çatışması yaşatabileceğine dikkat çekmiş, aşırı ve zorunlu fazla mesainin aile hayatını olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir [1]. Bu bağlamda sonuçlara bakıldığında zorunlu fazla mesaiye kalan evli çalışanların %92'si, evli ve çocuklu çalışanların ise tamamı aile ve sosyal yaşamlarının fazla mesai sebebiyle olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu da özellikle evli ve çocuklu çalışanlar için fazla mesai ile ilgili düzenlemenin bir ihtiyaç haline geldiğini göstermektedir.

Fazla mesainin proje ekibine, dolayısıyla projenin verimliliği üzerinde olumsuz etki ettiği Frangos'un yaptığı çalışmada da ortaya konmakta ve gerçekleştirdiğimiz çalışma sonuçları ile paralellik göstermektedir. Frangos yaptığı çalışmada, aşırı çalışmanın yazılım personellerinin verimliliğini düşürdüğü, yazılım projelerinde ortaya çıkacak ürün için harcanan zamanda, kişinin günde belirli saat boyunca üretken yani konsantrasyon halinde kalabildiği belirtilmiştir [4].

Kuutila ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada ise; zaman baskısının, artan motivasyon gibi yazılım geliştiricileri üzerinde olumlu etkileri olabileceği gibi, bunun da olumsuz etkileri olduğu gösterilmiştir. Çalışanlarda, artan stres ve mutsuzluğun sonunda depresyon ve tükenmişliğe yol açabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları ile çalışmamızın sonuçlarının paralellik gösterdiği görülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada da katılımcılar fazla mesainin fiziksel ve psikolojik sorunların olasılığını ve streslerini artırdığı yönünde görüş bildirmişlerdir. Kuutila ve arkadaşları bu durumla baş etmek için özellikle, Kanban ve Scrum gibi fazla mesaiyi azaltan çevik yöntemleri önermektedir. Ayrıca, bireylerin bilgisinin ve yöneticilerin becerilerinin yüksek olduğu bir ekipte

çalışmanın, zaman baskısının ekip üyeleri üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabileceğini belirtmişlerdir. Özellikle artan çalışma saatleri söz konusu olduğunda kullanılan yazılım geliştirme yönteminin yeniden gözden geçirilmesi ve daha verimli olabilecek Scrum gibi yöntemlere başvurulması daha etkili sonuçlar ortaya çıkartabilmektedir [12].

Türkdoğan ve arkadaşları da yazılım mühendisliği projelerinde fazla mesainin çalışanlarda verimliliği, aile yaşantısını, sosyal iletişim alanlarını ve yazılım kalitesini olumsuz etkilediğini belirtmektedirler [7]. Çalışmamızın sonuçlarının Türkdoğan ve arkadaşlarının aldığı sonuçlar ile paralellik gösterdiği görülmektedir.

Graziotin ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmaya göre, yazılım geliştiricilerde, geliştiricinin dışındaki faktörlerden kaynaklanan mutsuzluğun en sık ikinci nedeni olarak zaman baskısı görülürken, birinci mutsuzluk nedeni "problem çözmede takılı kalmak" olarak ortaya konmuştur [13]. Çalışmamızın sonuçlarında çalışanları duygusal ve fiziksel olarak yıpratıcı bir durum olarak zaman baskısının bir sonucu olarak yaşadıkları fazla mesai faaliyetlerinin bir mutsuzluk nedeni olarak belirtilmesi mümkündür.

Giderek daha yoğun ve karmaşık projeler ile uğraşmak durumunda kalınan yazılım sektöründe, fazla mesainin düşünülen verimliliği sağlayamadığı görülmektedir. Yazılım proje yöneticilerinin fazla mesai yerine, yeni yazılım geliştirme metodolojilerini projelerine entegre etme, esnek çalışma saatleri gibi çalışanlarına farklı alternatifler sunma, iş yerinde geçirilen zamanı daha üretken hale getirme gibi farklı çalışma modellerine yönelmeleri hem çalışanlar hem de yöneticiler için daha faydalı çözümler sunabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Olson, B., & Swenson, David. (2011) Overtime effects on project team effectiveness. In The Midwest Instruction and Computing Symposium, 2011.
- [2] Putnam, L. H. (1978). A general empirical solution to the macro software sizing and estimating problem. IEEE transactions on Software Engineering.
- [3] Reichelt, K., & Lyneis, J. (1999). The dynamics of project performance: benchmarking the drivers of cost and schedule overrun. European management journal.
- [4] Frangos, S. A. (1997). Motivated humans for reliable software products. In Reliability, Quality and Safety of Software-Intensive Systems (pp. 83-91). Springer, Boston, MA.
- [5] Verner, J., Sampson, J., & Cerpa, N. (2008, June). What factors lead to software project failure?. In 2008 Second International Conference on Research Challenges in Information Science (pp. 71-80). IEEE.

-
- [6] Wang, Y., & Shi, H. (2009, May). An exploratory study on china's software engineers' unpaid overtime working. In Proceedings of the special interest group on management information system's 47th annual conference on Computer personnel research (pp. 209-214).
- [7] Türkdoğan, N., Güceğlioğlu, S., Demirörs, O. (2017). Yazılım Mühendisliği Projelerinde Fazla Mesainin Verimlilik Üzerine Etkileri. 11. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu.
- [8] Mann, C., & Maurer F. (2005) A Case Study on the Impact of Scrum on Overtime and Customer Satisfaction. In 2005 IEEE Proceedings of the Agile Development Conference.
- [9] Akula, B., & Cusick, J. (2008) Impact of Overtime and Stress on Software Quality Conference: The 4th International Symposium on Management, Engineering, and Informatics.
- [10] Edholm, H., Lidström, M., Steghöfer, J. (2017) Crunch Time: The Reasons and Effects of Unpaid Overtime in the Games Industry. 2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice Track.
- [11] Nishikitani, M., Nakao, M., Karita, K., Nomura, K. & Yano, E. (2005) Influence of overtime work, sleep duration, and perceived job characteristics on the physical and mental status of software engineers.
- [12] Kuutila, M., Mäntylä, M., Farooq, U., & Claes, M. (2020). Time pressure in software engineering: A systematic review. *Information and Software Technology*, 106257.
- [13] Graziotin, D., Fagerholm, F., Wang, X., & Abrahamsson, P. (2017, June). On the unhappiness of software developers. In Proceedings of the 21st International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (pp. 324-333).

Proje Karmaşıklığının Ölçümlemesine Yönelik Bir Model Önerisi

A Model Suggestion for Measuring Project Complexity

Ezgi GÜRELER GÖNEN¹ , Ayberk SOYER¹ 

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34357, İstanbul, Türkiye

Öz

Proje yönetimi; entegrasyon, kapsam, zaman, maliyet, kalite, insan kaynağı, iletişim, tedarik ve risk yönetimi konularına odaklanmaktadır. Proje karmaşıklığı bu başlıkların hiçbiri altında değerlendirilemeyen; ancak projelerin başarılı bir şekilde yönetilmesi ve sonuçlanmasında önemli bir etkiye sahip olan farklı bir konudur. Dolayısıyla proje karmaşıklığının, farklı birçok açıdan değerlendirilmesi gereken bir proje yönetim boyutu olarak düşünülmesi ve proje yönetim sürecinde mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.

Proje karmaşıklığının yönetilebilir hale gelmesi için projeleri yönetirken karmaşıklık yaratacak her bir faktörün ve etkilerinin net olarak tanımlanması ve ölçülmesi gerekmektedir. Tanımlanan faktörlerin etkin ve kolay bir şekilde ölçümlenebilmesi, ancak faktörlerin sistematik olarak bir araya getirilmesiyle mümkün olmaktadır. Ayrıca bütünsel açıdan bakıldığında, bu yaklaşım, ilk bakışta tespit edilemeyen faktörlerin de ortaya çıkarılmasını mümkün hale getirmektedir. Bu sebeple proje karmaşıklığının ölçülmesine yönelik oluşturulmuş çerçeveler ve bu çerçevelerde yer alan boyutlar, proje karmaşıklığının tanımlanması ve ölçülmesi için kritik öneme sahiptir.

Bu çalışma, projelerde karmaşıklığın ölçülmesine yönelik yeni bir model geliştirmek ve proje yönetim süreçlerine katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında literatürde proje karmaşıklığına yönelik yapılan tanımlar, karmaşıklığı etkileyen faktörler ve bu faktörlere yönelik yapılan sınıflandırmalar, oluşturulan boyutlar ve karmaşıklık ölçüm araçları araştırılmış ve proje karmaşıklığının ölçülmesine yönelik yeni bir model önerisi sunulmuştur. Sunulan model, dijital bankacılık projelerinde karmaşıklığın ölçülmesine yönelik bir uygulamada kullanılmıştır. Uygulama ile ele alınan projelerin karmaşılaşmasına en çok katkı sağlayan temel faktörler ve alt faktörler belirlenmiş ve alternatif projelerin karmaşıklık seviyeleri kıyaslanmıştır. Projeyi yönetmeyi karmaşık hale getiren unsurları tanımlamak ve proje yönetimi için ortak bir anlayış sağlamak, hem akademik çalışmalara hem de proje uygulayıcılarına bu unsurların nasıl yönetileceği konusunda yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Proje Yönetimi, Proje Karmaşıklığı, Analitik Ağ Süreci (ANP), Karar Verme

Abstract

Project management focuses on integration, scope, time, cost, quality, human resources, communication, procurement and risk management issues. Project complexity is a different issue that cannot be evaluated under any of these topics, and has a significant impact on the successful management and conclusion of projects. Therefore, it should be considered in the project management process and should be evaluated from different perspectives.

In order to make the project complexity manageable, each factor that create complexity together with their effects should be defined and measured. The effective and easy measurement of the identified factors is only possible by systematically combining them. Moreover, from a holistic perspective, this approach makes it possible to reveal the factors that cannot be detected at first glance. For this reason, the frameworks created for measuring the project complexity and the dimensions included in these frameworks are obviously critical.

This study was carried out to develop a new model for measuring project complexity. Within the scope of this study, the definitions proposed for project complexity, the factors influencing it, the dimensions created to measure it, and the complexity measurement tools were researched, and a new model was developed for measuring project complexity and used in an application for measuring complexity in digital banking projects. The main factors and sub-factors contributing most to the complexity of the relevant projects were determined, and the complexity levels of these projects were compared. Identifying the factors that complicate the project management process will help both academic studies and project practitioners in how to manage these factors.

Keywords: Project Management, Project Complexity, Analytical Network Process (ANP), Decision Making

I. GİRİŞ

Proje, bir probleme çözüm bulmak ya da bir fırsatı değerlendirmek amacıyla değişim yaratmayı hedefleyen, belirli bir zaman hedefi ve belirli bir bütçe dâhilinde gerçekleştirilen çalışmadır. Proje yönetimi, projenin gerekliliklerinin yerine getirilmesi için projenin aktivitelerine çeşitli bilgi, yetkinlik, araç ve tekniklerin uygulanmasını gerektirir ve başlangıç, planlama, uygulama, kontrol ve kapanış süreçlerinin başarılı bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Kılavuzuna (PMBOK) göre, proje yönetimi dokuz farklı sürecin yönetilmesine odaklanmaktadır: (i) entegrasyon yönetimi, (ii) kapsam yönetimi, (iii) zaman yönetimi, (iv) maliyet yönetimi, (v) kalite yönetimi, (vi) insan kaynağı yönetimi, (vii) iletişim yönetimi, (viii) risk yönetimi ve (ix) tedarik yönetimi [1].

Literatürde proje yönetimi ile ilgili hemen hemen bütün kaynaklarda, bu temel süreçlerin yanı sıra, karmaşıklık, zorluk, belirsizlik, vb. farklı kavramlar da yer almaktadır. Bahsedilen bu kavramlar genellikle birbirleri ile karıştırılmakta ve birbirleri yerine kullanılmaktadır; ancak doğru bir yönetim için bu kavramların birbirinden ayrıştırılması gerekmektedir. *Karmaşıklık*, birden fazla farklı öge ve bunların ilişkilerinden kaynaklanan bir olgudur. *Belirsizlik*, birçok sonucun gerçekleşebileceği durumlarda sahip olunan limitli bilgi sebebiyle sonucun öngörülemezliği durumudur. *Risk* ise, bir kişi veya kurumun hedeflerini gerçekleştirilmesini engelleyebilecek herhangi bir durumda ortaya çıkma olasılığı ve ortaya çıktığı durumda yaratacağı etkidir. Proje risk yönetimi, bilinmeyen olayların veya bilinen olayların bilinmeyen sonuçlarının, proje üzerindeki etkilerini ölçmeye çalışır. Proje karmaşıklığı ise projenin bilinen karakteristiklerine ve bunların birbirlerini nasıl etkilediklerine odaklanır. Proje karmaşıklığı ile ilgili doğru yönetim stratejilerinin kurulabilmesi, karmaşıklık kavramı ile risk ve belirsizlik kavramlarının doğru ayrıştırılması ile doğrudan ilişkilidir [2]. *Proje zorluğu* ise proje takımının uzmanlığına dayalı bir kavramdır. Wood ve Ashton (2015)'in çalışmasında *karmaşık* kelimesi, anlaşılması, analiz etmesi ya da başa çıkması zor olmaktan ziyade, birkaç kısımdan oluşan şey olarak ifade edilmekte ve zorluk ve karmaşıklık kavramlarının birbirinden farklı oldukları vurgulanmaktadır [3]. Proje karmaşıklığı, proje zorluğunun temelidir; projeyi tamamlamayı zorlaştırır ve proje risklerini kontrol altında tutmak için özel bir çaba gerektirir [4]. Risk, belirsizlik ya da zorluk kavramlarından farklı bir kavram olması sebebiyle karmaşıklığın, projeleri etkileyen farklı bir faktör olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Karmaşıklıkta, belirsizlik ve dinamizm hâkimdir [5, 6]. Ne olacağı kestirilemeyen durumlar bir araya geldiğinde karmaşık bir hal alması kaçınılmazdır. Dinamizm, davranışların canlı ve hareketli olması anlamına gelmektedir ki sürekli değişen, hareket

halinde olan bir sistemde akışı yakalamak, sistemin büyüklüğü gibi etkenler de göz önüne alındığında oldukça zordur.

Proje karmaşıklığının belirlenmesi ve ölçülmesi konusunda yapılan çalışmalar, karmaşıklık ile ilgili konuları adresleyebilme hususunda insanların kabiliyetlerini artıracak modeller ve yöntemler önermekte ve proje yönetiminde rol alan bireylerin zaman, maliyet ve kapsam ile ilgili konulardaki rollerine dikkat çekmektedir. Proje karmaşıklığının tanımlanması ve büyüklüğünün belirlenmesi, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için engel teşkil edebilecek önemli bir faktöre yönelik önlemler alınmasına fırsat sunar. Özellikle erken aşamalardan itibaren yapılan karmaşıklık ölçümleri; projelerde uygun stratejiler ile ilerlenmesini, en elverişli yöntem ve araçların tercih edilmesini, en doğru tecrübe ve yetkinlikteki çalışanlarla süreçlerin yürütülmesini veya ihtiyaçlar doğrultusunda çalışanları eğitimlerle destekleyerek gelişimlerine katkı sağlanması yoluyla, projelerde başarıya ulaşılmasında etkin rol oynar.

Baccarini (1996) yaptığı çalışmada gözlemlerine göre proje yöneticilerinin, proje yönetimi ile ilgili konular hakkında tartışırken genellikle projelerini “basit” ya da “karmaşık” şeklinde tanımladıklarını ifade etmiş ve bu gözlemlerden hareketle, karmaşıklık konusunun, proje yönetiminde bir fark yarattığı çıkarımında bulunmuştur [5]. Karmaşık projeler, basit projelere göre, daha üst seviye bir yetime ihtiyaç duyarlar. Bu sebeple sıradan projeler için geliştirilmiş geleneksel proje yönetim teknikleri karmaşık projeler için yetersiz kalacaktır. Tüm bu söylemler sonucu proje yönetiminin karmaşıklık yönetimi ile ilişkili olduğu sonucuna varılabilir. Baccarini (1996) proje yönetimi sürecinde karmaşıklık yönetiminin önemli olduğunu şu gerekçelerle açıklamıştır: Proje karmaşıklığı;

- planlama, koordinasyon ve kontrol gerekliliklerinin belirlenmesinde etkilidir.
- büyük projelerde hedeflerin açıkça görülmesini engeller.
- uygun proje organizasyon şeklinin seçilmesi için önemli bir ölçüttür.
- proje girdilerinin belirlenmesinde rol oynar.
- uygun proje tedarik anlaşmalarının seçiminde bir ölçüt olarak kabul edilebilir.
- projenin zaman, maliyet ve kalite hedeflerine etki eder (proje karmaşıklığı arttıkça proje için gerekli zaman ve maliyet artacaktır) [5].

Her proje kendine özgüdür; çünkü hedef, kaynak ve çevre parametrelerinden en az bir tanesi mutlaka farklılık gösterir. Bu durum, proje yönetimini daha da karmaşık hale getirmektedir. Proje karmaşıklığı gidererek artmakta ve modern proje yönetimini desteklemek için daha iyi anlaşılmalı ve ölçümlenmeye ihtiyaç duymaktadır [7]. Proje karmaşıklığının doğru bir şekilde belirlenmesi,

ölçülenmesi ve yönetilmesi, başarılı bir proje yönetimine büyük oranda katkı sağlayacaktır.

1.1. Proje Karmaşıklık Kavramının Tanımlanması

Literatürde sıkça kullanılan tanımlar karmaşıklık en basit haliyle “etkileşim halinde bulunan çok sayıda ögeye sahip olma karakteristiği” şeklinde açıklamaktadır. Ancak araştırma konusu olarak ele alındığında karmaşıklık kavramı için yapılan bu tanım yetersiz kalmaktadır. Birçok bilim insanı karmaşıklık kendi alanlarına göre farklı şekillerde tanımlamış ve mutabık kalınan bir tanım henüz ortaya çıkmamıştır.

Standart bir tanım olmadığı sürece, karmaşıklık, sonuçları tahmin edilemeyen, detayları tam olarak anlaşılabilen ya da bunlar dışında normal dışı olarak algılanan sayısız durumdan birini içeren projeler için, farklı şekillerde algılanabilir. Proje uzmanları ve takımları bir projenin karmaşık olup olmadığını sezgileri ile hissedebilirler. Ancak karmaşıkların sebepleri çok çeşitli olabilir ve objektif ya da sübjektif farklı birçok kaynağa bağlı olabilir. Ek olarak, karmaşıklık algısı birçok proje faktörü ile şiddetlenebilir ve aktif olarak yönetilemediği durumlarda proje çıktılarında negatif etkilere sebep olabilir.

Cicmil ve diğ. (2009) proje karmaşıklarını “planlama ve kontrol uygulamalarının kararlaştırılmasına yardımcı olan amaç ve hedeflerin tanımlanmasını engelleyen ya da projenin zaman, maliyet ve kalitesini etkileyen bir faktör” olarak [8]; Vidal ve diğ. (2011) “proje sistemi ile ilgili kabul edilebilir bütünlükte bir bilgi verilmiş olsa dahi, projenin tüm hareketlerinin anlaşılmasını, öngörülmesini ve kontrol altında tutulmasını zorlaştıran bir özellik” olarak tanımlamış [7] ve karmaşıklık değerlendirilmesinin önemini altını çizmişlerdir.

Lu ve diğ. (2015) karmaşıkların tanımlanması zor olan, ancak ölçülmesi daha da zor olan bir kavram olduğunu ifade etmiştir [2]. Karmaşıklık tanımlanması zor bir kavram yapan en temel unsur, aslında karmaşıklık oluşturan kavramların da açıklanmasının, tahmin edilmesinin ve ölçülenmesinin zor olmasıdır. Dao ve diğ. (2016b) proje karmaşıklarının, değişkenler ve ara yüzler arasındaki ilişkilerin derecesi ve bu ilişkilerin öngörülebilirlik ve işlevselliği üzerinde önemli etkisi olduğunu ifade etmiştir [4]. Proje karmaşıklık ile ilgili literatürde yer alan temel çalışmalarda yer alan tanımlar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatürde yer alan proje karmaşıklık tanımları

Kaynak	Tanım
Baccarini (1996) [5]	Etkileşim halinde bulunan çok sayıda ögeye sahip olma karakteristiği
Gidado (1996) [9]	Birleştirilmesi gereken çok sayıda farklı sisteme sahip olmak ya da elemanlar arası çok sayıda ara yüz bulundurmak
Williams (1999) [10]	İlişkili birçok kısımdan oluşan bir yapı ve bu yapıyı etkileyen belirsizlikler
Lucas (2006) [11]	Birbirleri ile birçok farklı şekilde etkileşim halinde olan elemanlardan oluşan bir bütün
Brockmann ve Grimscheid (2007) [12]	Karar verme noktalarındaki bolluğun, ilişkililiğin ve sıralı etkilerin derecesi
Cicmil ve diğ. (2009) [8]	Planlama ve kontrol uygulamalarının kararlaştırılmasına yardımcı olan, amaç ve hedeflerin tanımlanmasını engelleyen ya da projenin zaman, maliyet ve kalitesini etkileyen bir faktör
Bosch-Rekvelde ve diğ. (2011) [13]	Projelerdeki yapısal ve dinamik elemanlar ve bunlar arasındaki ilişkiler
Vidal ve diğ. (2011) [7]	Proje sistemi ile ilgili kabul edilebilir bir bütünlükte bilgi verilmiş olsa dahi projenin tüm hareketlerinin anlaşılmasını, öngörülmesini ve kontrol altında tutulmasını zorlaştıran bir özellik
Xia ve Chan (2012) [14]	Projenin birbirine bağlı kısımlarından kaynaklanan doğal karakteristikleri
Wood ve Ashton (2015) [3]	Proje çıktılarını başarmak için alınan standart cevapları/aksiyonları etkileyen faktör veya faktörlerin birleşimi
Lu ve diğ. (2015) [2]	Birçok çeşitli ilişkili parçalardan oluşan ve ‘dinamik’, ‘aniden beliren’, vb. özellikleri barındıran faktör
Remington ve Pollack (2016) [15]	Projeyi yönetmeyi veya proje çıktılarını tahmin etmeyi zorlaştıran bir proje karakteristiği
Dao ve diğ. (2016b) [4]	Değişkenler ve ara yüzler arasındaki ilişkilerin derecesi ve bu ilişkilerin öngörülebilirlik ve işlevsellik üzerindeki önemli etkisi
Dao ve diğ. (2017) [16]	Proje elemanlarının tanımlanma derecesi, proje elemanları arasındaki ilişkiler ve proje kararları üzerindeki önemli etkiler

Geraldi ve diğ. (2011)’ne göre karmaşık denen şey, doğası gereği zamanla değişmektedir ve proje yaşam döngüsü boyunca görece olarak uzun dönemlerde

değişmesi beklenen bir durumdur [6]. Karmaşık bir sistemdeki birçok bağımsız eleman sürekli etkileşim halindedirler ve kendiliğinden (yeniden) organize

olarak, zamanla yapıların karmaşıklığını artırmaktadırlar [16]. Baccarini (1996)'nin yaptığı "etkileşim halinde bulunan çok sayıda ögeye sahip olma karakteristiği" tanımı aslında karmaşıklık kavramı ile ilgili iki temel noktayı vurgulamaktadır: (i) çeşitli ögeler ve (ii) bunların etkileşimi [5]. Baccarini (1996) yaptığı çalışmada karmaşıklık ile ilgili bu iki temel noktaya değinmiş ve bunları 'ilişkili çeşitli birçok kısım içermek' ve 'karışık, girift, anlaşılması güç' olmak şeklinde ifade etmiştir [5].

Gidado (1996) inşaat sektöründe yaptığı çalışmada sektör uzmanları ile yaptığı görüşmelerde karmaşıklığı "birleştirilmesi gereken çok sayıda farklı sisteme sahip olmak ya da elemanlar arası çok sayıda ara yüz bulundurmamak" şeklinde tanımlamış ve proje karmaşıklığının iki yönü olduğunu ileri sürmüştür: (i) iş ile ilgili çok sayıdaki kısmın, iş akışı şekline gelmesi için nasıl bir araya getirileceğinin planlanmasını ifade eden *yönetmelik taraf* ve (ii) iş parçalarının uygulanmasının zorluğu ya da teknik anlaşılabilirlikleri ifade eden *operasyonel ve teknolojik taraf* [9].

Proje karmaşıklığı ile ilgili farklı alanlarda farklı tanımlar yapılmış olsa da proje yönetimi bakış açısıyla yapılan tüm değerlendirmeler dikkate alındığında proje karmaşıklığı, "*birbirleri ile ilişkili derecesi yüksek olan çok sayıda öge barındırmak*" şeklinde tanımlanabilir. Proje karmaşıklığı; farklı birçok boyut açısından ayrı ayrı değerlendirilmesi gereken, her bir boyut için faktörlerin ve etkilerinin net olarak tanımlanmasının kritik olduğu bir kavram olarak değerlendirilmelidir.

1.2. Proje Karmaşıklığı Kavramının Ölçülmesi

Proje karmaşıklığının etkin bir şekilde yönetilmesi için proje karmaşıklığının tanımlanması önemli bir adımdır. Karmaşıklık daha önce bahsedildiği gibi birçok etkenden meydana gelen soyut bir kavramdır. Dolayısıyla, belirli bir proje için karmaşıklık tanımı yapılırken ilk adım olarak karmaşıklığı oluşturan etkenlerin, bileşenlerin ve özelliklerin ortaya konması gerekmektedir. Bu kavramların ölçülmesi genellikle mümkün değildir. Kavramların ölçülmesini mümkün hale getirmek, ancak bu kavramlarla ilişkilendirilebilecek göstergelerin belirlenmesi ile mümkün olacaktır. Belirlenen bu göstergeler proje karmaşıklığının ölçülmesi ve değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Projelerde karmaşıklığın tanımlanması; karmaşıklıkla ilgili en önemli faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörleri yansıtabilecek göstergelerin oluşturulması süreçlerini içermelidir. Wood ve Ashton (2015)'a göre, karmaşıklıkla ilgili herhangi bir ölçek seçilmeden önce projeyi karmaşıklaştıran faktörlerin tanımlanması esastır [3]. Dao ve diğ. (2017) proje karmaşıklığının keşfedilmesi ve değerlendirilmesinin, ancak iki spesifik hedef ile gerçekleşebileceğini belirtmiştir: (i) karmaşıklığın ve bileşenlerinin tanımlanması ve (ii) proje karmaşıklığının ölçüsü olan karmaşıklık

göstergelerinin öneminin tanımlanması ve test edilmesi [16].

Farklı türdeki karmaşıklıklar, farklı yönetim metodlarına ihtiyaç duyar [15]. Farklı türdeki karmaşıklıkların tanımlanması, projeyi yönetmek için en uygun araç ve yöntemlerin belirlenmesine olanak sağlayacağından başarılı bir proje yönetimi için oldukça önemlidir.

Qureshi ve Kang (2015) proje karmaşıklığının çeşitli formlarda olduğunu ve sosyal, teknolojik, çevresel ve organizasyonel bakış açılarıyla anlaşılabilirliğini belirtmiştir [17]. Maylor ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada proje karmaşıklığını yönetsel karmaşıklık olarak ele almış ve elemanlarını misyon, organizasyon, çıktılar, paydaşlar ve takım olarak gruplandırmıştır [18]. Remington ve Pollack (2016) proje karmaşıklığını etkileyen faktörleri dört başlık altında toplamıştır: (i) yapısal karmaşıklık, (ii) teknik karmaşıklık, (iii) yönsel karmaşıklık ve (iv) geçici karmaşıklık [15]. Brockmann ve Grimscheid (2007)'da karmaşıklığı temelde dört kategoride incelemiştir: (i) görev karmaşıklığı, (ii) sosyal karmaşıklık, (iii) kültürel karmaşıklık ve (iv) genel karmaşıklık [12]. Dao ve diğ. (2016a)'ne göre projenin bileşenlerinin sayısı, her bir bileşenin aktiflik derecesi, bileşenler arasındaki etkileşimin derecesi (veya projedeki ara yüzler) ve proje ile proje dışındaki varlıkların etkileşimi, proje karmaşıklığını yaratan başlıca etkenlerdir [19]. Vidal ve Marle (2008) yaptıkları çalışmada proje karmaşıklığının değişkenlerini dört boyut altında sınıflandırmışlardır: (i) proje ölçeği, (ii) proje bileşenlerinin ayrıştırılması, (iii) proje bileşenleri arasındaki etkileşim ve (iv) dışsal/çevresel faktörler ile etkileşim [20]. Lu ve diğ. (2015) proje karmaşıklığının görev ve organizasyon olmak üzere iki boyutu olduğunu belirtmiştir [2]. Brockmann ve Grimscheid (2007) karmaşıklığın boyutlarını ayrıştırarak, karmaşıklık ile başa çıkabilecek stratejilerin seçilmesine katkı sağlamak ve proje karmaşıklığını azaltmak amacıyla yaptıkları çalışmada, proje karmaşıklığını genel karmaşıklık, sosyal karmaşıklık, kültürel karmaşıklık ve görev karmaşıklığı olmak üzere dört temel boyutta gruplandırmıştır [12]. Bosch-Rekvelde ve diğ. (2011) ise proje karmaşıklığı ile ilgili, belirledikleri 50 faktörü içeren ve bu faktörleri teknik, organizasyonel ve çevresel olmak üzere üç ailede topladıkları Teknik-Organizasyonel-Çevresel Çerçeveyi (TOE: Technical-Organizational-Environmental Framework) geliştirmişlerdir [13].

Baccarini (1996) projenin karmaşıklığını etkileyen faktörlerin organizasyonel karmaşıklık ve teknolojik karmaşıklık olmak üzere iki temel boyutta gruplanabileceğini belirtmiştir [5]. Proje karmaşıklığının işlevselleştirilmesinin, ancak onu oluşturan parçaların farklılaştırma ve bağımlılık açılarından ele alınmasıyla mümkün olduğunu belirten Baccarini (1996), belirlediği iki temel boyutu,

farklılaştırma ve bağımlılık açısından ayrı ayrı değerlendirmiştir [5].

Lu ve diğ. (2015) proje karmaşıklığının ölçülmesine yönelik yaptıkları çalışmada görev ve organizasyon boyutlarını içeren Görev ve Organizasyon Çerçevesini (TO: Task and Organization Framework) önermiş, karmaşıklık boyutlarını organizasyonel ve görevler şeklinde düşünmekten çok, görevler arası ilişkiler ve organizasyondaki kişiler arası ilişkiler olarak dikkate almış ve her iki boyutu hem teker teker hem de ilişkiler bakımından değerlendirmiştir [2].

Zhu ve Mostafavi (2017) sistemlerde iki tip karmaşıklık olduğunu savunmuştur: Detay karmaşıklık ve dinamik karmaşıklık [21]. Detay karmaşıklık değişkenlerin çok sayıda olmasından kaynaklanan, dinamik karmaşıklık ise sebep-sonuç ilişkilerinin net olmadığı ve zamanla değiştiği durumlarda bileşenler arasındaki ilişkilerden kaynaklanan karmaşıklık. Detay karmaşıklık proje sistemi ile alakalı iken, dinamik karmaşıklık sistemdeki elemanlara dayalı operasyonel süreçlerle alakalıdır.

Vidal ve diğ. (2011) proje karmaşıklığının ölçülmesi için literatürdeki çalışmalarını inceleyerek, 70 adet gösterge listelemiş ve belirledikleri karmaşıklık faktörlerini hem Baccarini (1996)'nin [5] geleneksel çerçevesine göre organizasyonel ve teknolojik olarak gruplandırmış, hem de literatürde yaygın olarak kullanılan büyüklük, çeşitlilik, bağımlılık ve içerik bağımlılık faktörlerine göre gruplandırmışlardır [7].

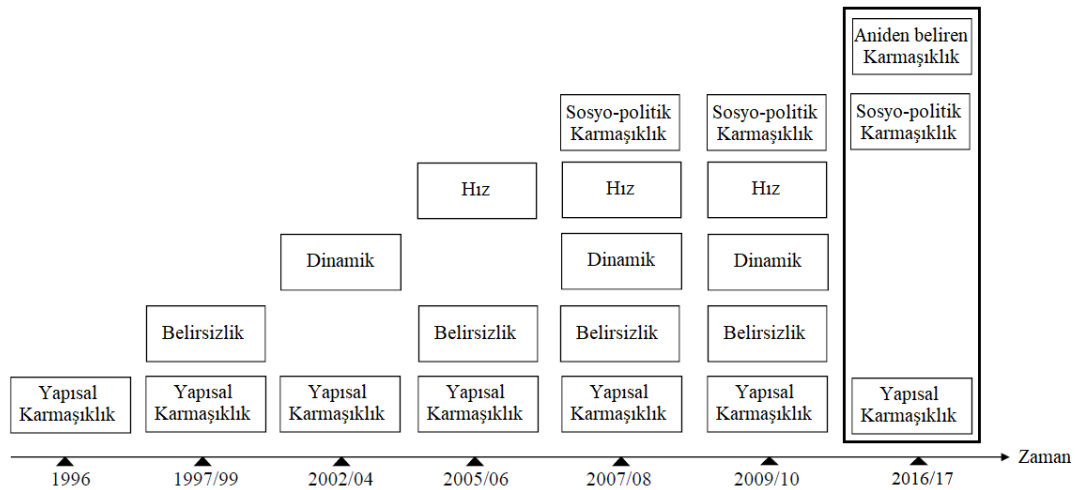
GAPPS (*Global Alliance for Project Performance Standards*: Proje Performans Standartları Uluslararası İttifakı) 2007 yılında bir proje yöneticisi standardı olarak CIFTER (*Crawford-Ishikura Factor Table for Evaluating Roles*: Görevlerin Değerlendirilmesi için Crawford-Ishikura Faktör Tablosu) adı verilen yedi faktörlü bir proje yönetimi karmaşıklık ölçüm modeli geliştirmiştir: (i) proje içeriğinin durağanlığı, (ii) proje gerçekleşirken dâhil olan farklı disiplin, yöntem veya yaklaşımların sayısı, (iii) proje gerçekleşirken yasal, sosyal veya çevresel etkilerin büyüklüğü, (iv) proje paydaşları için beklenen pozitif ya da negatif finansal etki, (v) organizasyonun kendisi ya da dâhil olan diğer organizasyonlar için projenin stratejik önemi, (vi) proje ürününün özellikleri konusunda paydaşların uyumu ve (vii) proje ve diğer organizasyonel varlıklar arasındaki ara yüzlerin sayısı ve çeşitliliği [22]. CIFTER, projeleri, yönetim karmaşıklıklarına göre kategorilere ayırmaya dayanmakta ve yönetilen projelerin karmaşıklığı doğrultusunda proje yöneticilerinin görevlerini farklılaştırmak için kullanılmaktadır. Yöntemde belirlenmiş faktörler, proje yönetimi karmaşıklığının sebeplerini tanımlamaktadır.

Dao ve diğ. (2016a), proje uygulayıcılarının, projelerin

karmaşıklığını etkin bir şekilde tanımlamaları, değerlendirmeleri ve yönetmeleri için bütünlük bir karmaşıklık çalışmasına ihtiyaç olduğunu; ancak literatürde karmaşıklık ölçen ciddi sayıda çalışma olmasına rağmen, proje karmaşıklığını tanımlayan, boyutlarını belirleyen ve karmaşıklık seviyesini ölçecek bir metodoloji sunan bütünlük bir çalışma olmadığını belirtmişlerdir [19]. Geliştirdikleri Proje Karmaşıklığı Değerlendirme ve Yönetme Aracı (PCAM: *Project Complexity Assessment and Management*) ile proje takımlarının, proje karmaşıklığını tanımlamaları, değerlendirmeleri ve yönetmelerine yardımcı olmayı amaçlamışlardır. PCAM, proje karmaşıklığı için önemli olduğu kanıtlanmış karmaşıklık faktörlerinin karşılaştırılmasına dayanan karmaşıklık ölçümleme matrisi temeli üzerine geliştirilmiştir. Temel amaç, anahtar proje karmaşıklığı göstergelerinin belirlenmesi, bu göstergelerin projeye potansiyel etkilerinin değerlendirilmesi ve potansiyel etkilerin gerçekleşmesi durumunda yönetilmesi için bir plan tasarlanmasıdır.

Bosch-Rekveltd ve diğ. (2011) ilk olarak proje başlamadan önce değerlendirilebilecek, proje karmaşıklığına katkı sağlayan bileşenlere odaklanmış ve yaptıkları çalışmada bu bileşenleri tespit edebilmek ve bir çerçeve oluşturabilmek için hem teori hem de pratikten yararlanmışlardır [13]. Çalışmada belirlenen faktörler proje için “Ne?”, “Kim?” ve “Nasıl?” sorularına göre sınıflandırılmıştır. “Ne?” faktörleri proje karmaşıklığının teknik boyutuna, “Kim?” faktörleri proje karmaşıklığının çevresel boyutuna, “Nasıl?” faktörleri ise proje karmaşıklığının organizasyonel boyutuna atanmıştır. Bu doğrultuda geliştirilen TOE karmaşıklık çerçevesinde teknik, çevresel ve organizasyonel faktörler anahtar faktörler olarak belirlenmiştir.

Geraldi ve diğ. (2011) proje karmaşıklığı ilgili boyutları belirlemek ve ortak bir dil oluşturmak adına yaptıkları sistematik çalışmaya, literatür araştırması ile başlamış, 1996'dan 2010'a kadar konu ile ilgili yazılmış tüm makaleleri incelemişlerdir [23]. İncelenen makalelerden 25 tanesi altı adımda detaylı olarak analiz edilmiş ve ortaya çıkan kavramlar beş karmaşıklık tipi altında ifade edilmiştir: (i) yapısal karmaşıklık, (ii) belirsizlik, (iii) dinamiklik, (iv) hız ve (v) sosyo-politik karmaşıklık. Şekil 1'de yer alan zaman çizelgesi, karmaşıklık ile ilgili yeni anlayışların ortaya çıktığı dönemleri göstermektedir. İlk boyut Baccarini (1996) [5] tarafından ortaya atılmış yapısal karmaşıklık ve 1996'dan itibaren karmaşıklığın bir özelliği olarak düşünülmektedir. Belirsizlik boyutu, Williams (1999) [10] tarafından tanımlanan ikinci boyuttur. Karmaşıklık 2002-2004 yıllarında yapısal karmaşıklık ve dinamiklik boyutları ile ele alınmış; 2005'te bu iki boyuta ek olarak Williams (2005) [24] hız boyutunu ortaya koymuştur. Son olarak 2007-2008 yıllarında karmaşıklığın sosyo-politik boyutu eklenmiştir [23].



Şekil 1. Karmaşıklık çerçevelerinin tarihsel gelişimi [23, 25]

Karmaşıklık tiplerini ölçümlemek için kullanılacak göstergelerden belirsizlik, yapısal ve sosyo-politik karmaşıklık ile ilgili olanların sayısının fazla olması, araştırmacıları bunlar için alt kategoriler geliştirmeye yöneltmiştir (Bkz. Tablo 2).

Tablo 2. Karmaşıklığın boyutları ve değişkenleri [23]

Boyut	Değişken (Alt Boyut)
Yapısal Karmaşıklık	Büyüklik
	Çeşitlilik
	Bağımlılık
Belirsizlik	Yenilik
	Deneyim
	Bilginin elverişliliği
Dinamiklik	Değişim
Hız	Değişiklik hızı
Sosyo-Politik Karmaşıklık	Önem
	Destekleme
	Uyma/Birleşme
	Şeffaflık

Maylor ve Turner (2017) karmaşıklığa subjektif bir açıdan bakarak projedeki karmaşıklığın anlaşılması, karmaşıklığın azaltılması ve azaltılamayan/arta kalan karmaşıklıklara cevap verilmesine yönelik bir çalışma yapmıştır [25]. Geraldı ve diğ. (2011)'nin [23] yaptıkları çalışmayı baz alan Maylor ve Turner (2017)

[25] 'hız' boyutunu kaynak yoğunluğunun bir ölçüğü olarak değerlendirmiş ve bunu 'yapısal karmaşıklık' kavramı içinde ele almıştır. Benzer şekilde 'belirsizlik' boyutu ve 'dinamiklik' boyutunun aslında birbirleri ile ilişkisinin ve birbirlerine etkisinin yüksek olduğu varsayımında bulunmuş ve bu iki boyutu 'aniden beliren karmaşıklık' olarak tek bir boyut altında toplamışlardır. Sonuç olarak, Maylor ve Turner (2017)'in [25], Geraldı ve diğ. (2011)'nin [23] ortaya koydukları karmaşıklık çerçevelerinin tarihsel gelişimine getirdikleri yeni boyut Şekil 1'de 2016/17 yılına ait bilgilerin bulunduğu kısımda gösterilmiştir.

Maylor ve Turner (2017) tarafından geliştirilen Karmaşıklık Değerlendirme Aracı (CAT: *The Complexity Assessment Tool*) birçok endüstriden elde edilen verileri sentezleyerek, projelerin karmaşıklığını değerlendiren basit bir yöntemdir [25]. Maylor ve Turner (2017), CAT ile potansiyel karmaşıklıkları tanımlamış, diyalog kuracakları bir ortam oluşturarak uzmanları bir araya getirmiş ve belirlenen karmaşıklıkları ortadan kaldırmak, azaltmak ve kalanlar için yönetsel bir cevap oluşturmak üzere bir çalışma gerçekleştirmiştir [25]. Uygulama sonucunda belirlenen boyutlar doğrultusunda katılımcılar tarafından kararlaştırılan faktörler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Proje karmaşıklık faktörleri [25]

Wood ve Ashton (2015) proje karmaşıklığının ölçülmesine yönelik yaptıkları çalışmada, öncelikle endüstri uzmanları ile görüşmeler yaparak proje karmaşıklığı için bir tanım oluşturmuş ve proje karmaşıklığının faktörlerini belirlemiş, daha sonra da vaka analizleri ile proje karmaşıklığının faktörlerinin sıklık ve etkilerini analiz etmişlerdir [3]. Bu çalışmada toplam 46 faktör bulunmuş ve bunlar beş temel boyut altında gruplanmıştır: (i) organizasyonel boyut, (ii) operasyonel ve teknolojik boyut, (iii) planlama ve yönetim boyutu, (iv) çevresel boyut ve (v) belirsizlik boyutu.

Remington ve Pollack (2016) farklı karmaşıklık tiplerinin farklı yönetim araçlarına ihtiyaç duyduğunu belirtmiş ve en uygun yöntemleri belirleyebilmek için öncelikle dört farklı karmaşıklık tipi belirleyerek, belirlenen karmaşıklık boyutlarının ölçümleneceği ve buna göre farklı yöntem ve stratejilerin tanımlanıp kullanılmasına olanak sağlayacak Karmaşıklık Haritalandırma Aracını (MPT: Mapping Complexity Tool) geliştirmişlerdir [15]. Bu çalışmada tanımlanan karmaşıklık boyutları aşağıda özetlenmiştir:

- Genellikle büyük projelerde karşılaşılan ve temelde projedeki bağımlılıkların sayısı ile bağlantılı *yapısal karmaşıklık*
- Çözülmemeyen teknik konular ve tasarım konularının projede oluşturduğu etki ile ilgili *teknik karmaşıklık*
- Proje hedeflerindeki belirsizlikler, süreçlerde açıkça ifade edilmeyen adımlar, saklanan ajandalar, vb. bilinmezliklerden doğan *yön ile ilgili karmaşıklık*

- Çevre ya da stratejik yön değişimlerinden kaynaklanan, aniden ortaya çıkan değişikliklerden kaynaklanan zaman gecikmelerini ifade eden *geçici karmaşıklık*.

Choudary vd. (2019), süreç endüstrisinde faaliyet gösteren ve Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP: Enterprise Resource Planning) sistemi kurulum projesinin gerçekleştirildiği büyük ölçekli bir işletmede yürüttükleri anket çalışmasıyla, proje karmaşıklığına sebep olan faktörleri ve bu faktörlerin etkilerini azaltacak ya da ortadan kaldırılacak stratejileri belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada karmaşıklık ölçümü için CIFTER modeli kullanılmıştır [26].

Kermanshachi, Dao, vd. (2020) ağır sanayi projelerinin karmaşıklığının ölçümüne yönelik Dao vd. (2017)'nin çalışmasında [28] belirlenen 37 farklı karmaşıklık göstergesini içeren bir karmaşıklık ölçüm aracı geliştirmişlerdir. Çalışmada belirlenen karmaşıklık göstergeleri 'paydaş yönetimi', 'yönetişim', 'mali planlama', 'kalite', 'yasal', 'arayüzler', 'uygulama hedefi', 'tasarım ve teknolojiler', 'lokasyon', 'kapsam' ve 'kaynak' kategorileri altında gruplanmış ve bu göstergelerin proje karmaşıklığına olan etkileri uzmanların yaptıkları sıralamalara göre belirlenmiştir. Çalışmada karmaşıklık ölçüm aracında yer alacak göstergelerin belirlenmesi için Delfi yöntemi, bu göstergelerin önem değerlerini belirlemek için ise ağırlık sırası toplamı metodu kullanılmıştır [27].

Kermanshachi, Rouhanizadeh, vd. (2020), Kermanshachi, Dao, vd. (2020)'nin çalışmasına [27] benzer şekilde, kapsamlı bir literatür taraması

sonucunda inşaat projeleri için karmaşıklık ölçümünde kullanılacak ve 11 kategori altında grupladıkları 38 proje karmaşıklık göstergesinin proje karmaşıklığına olan etkilerini uzman görüşlerinden hareketle belirlemiş ve çalışmanın sonucunda inşaat projeleri için 'kapsam yönetimi', 'proje kaynakları' ve 'arayüzler' kategorilerinin diğer kategorilere göre daha fazla önem değerine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmada karmaşıklık göstergelerinin önem değerlerinin belirlenmesi için sıra toplamı yöntemi kullanılmıştır [29].

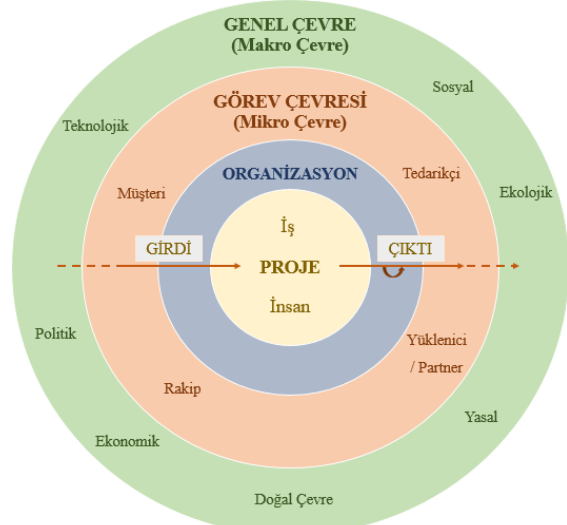
Luo vd. (2020) inşaat sektöründe proje karmaşıklığı ölçümü için Bayes Bilişsel Ağlarını (BBN: Bayesian Belief Network) temel alan ve neden sonuç ilişkilerinin dikkate alındığı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmada literatür taramasından hareketle 26 karmaşıklık ölçüm göstergesi belirlenmiş, bu göstergeler 'bilgi', 'görev', 'teknolojik', 'çevresel' ve 'hedef' karmaşıklık boyutları altında değerlendirilmiş ve karmaşıklık yönetim için 'teknolojik', 'bilgi' ve 'görev' karmaşıklığı ile ilgili göstergelere daha fazla önem verilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır [30].

Ma & Fu (2020) mega inşaat projelerinde proje karmaşıklığının proje başarı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, proje karmaşıklığı ve proje başarısını beşer alt boyutta incelemiş (karmaşıklık için teknolojik, organizasyonel, hedef, çevresel ve kültürel boyutları; başarı için çizelge, maliyet, kalite, paydaş memnuniyeti ve sürdürülebilirlik boyutları) ve kalitatif karşılaştırma analizi yardımıyla farklı proje karmaşıklık boyutlarının kombinasyonlarının proje başarı boyutları üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda özellikle organizasyonel karmaşıklığın proje performansı üzerinde etkisi olduğu; yüksek organizasyonel karmaşıklığın ya da yüksek çevresel ve kültürel karmaşıklığın çizelgelerde gecikmelere yol açabileceği; yüksek teknolojik ve hedef karmaşıklıklarının maliyetleri olumsuz yönde etkileyeceği ve yüksek hedef karmaşıklığı ve kültürel karmaşıklığın kilit paydaşların memnuniyeti üzerinde etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır [31].

II. PROJE KARMAŞIKLIĞININ ÖLÇÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN MODEL

Proje karmaşıklığını belirlemek için sadece projeleri değil, projeleri etkileyen içsel ve dışsal tüm faktörleri değerlendirmek esastır. Bir projenin gerçekleşmesinde proje hedeflerine göre çizilen rotada yer alan işler ve projede bilfiil çalışan kişiler kadar, bu işler ve kişileri etkileyen çevredeki oyuncuların durum ve davranışları da önemlidir. Bu kapsamda düşünüldüğünde bir projenin karmaşıklığını belirlemek için incelenmesi gereken proje ekosistemi, projenin kendisinden, projenin gerçekleştiği organizasyondan, projenin etkileşim içinde olduğu görev çevresinden ve içinde

bulunulan genel (makro) çevreden oluşmaktadır (Bkz. Şekil 3).



Şekil 3. Proje karmaşıklığı ekosistemi

Ekosistemde yer alan proje katmanı, projenin direkt olarak ilişkili olduğu iş süreçleri ve insani boyutları ifade etmektedir. Organizasyon, projenin gerçekleştiği organizasyona ait organizasyonel yapının, kültürün, süreç ve prosedürlerin proje üzerinde oluşturacağı etkileri göz önüne almayı sağlayacak olan ikincil katmandır. Görev çevresi olarak adlandırılan üçüncül katman projenin gerçekleşmesi için direkt olarak etkileşim içinde bulunan tedarikçiler, müşteriler, proje üzerinde direkt etkisi olan yükleniciler/partnerler ve rakiplerin yer aldığı çevredir. En son katman olan genel çevre ise projeyi dolaylı olarak etkileyen, proje kapsamında müdahale edilemeyen, ancak proje üzerinde etkisi olan teknolojik, ekolojik, sosyal, yasal, ekonomik, politik ve doğal çevre ile ilgili unsurları kapsar.

Karmaşıklığın ölçülmesi için karmaşıklığı meydana getiren faktörlerin belirlenmesi, daha sonra bu faktörlerin göstergelere dayandırılarak ölçülmesi esastır. Karmaşıklık çok geniş bir kavram olduğundan, karmaşıklığı oluşturan yüzlerce faktörden söz etmek mümkündür. Karmaşıklık yönetiminin proje yönetim sürecinde efektif olarak yer alabilmesi için, doğru bir şekilde ölçülmesi kadar, kolay bir şekilde ölçülmesi de önemlidir. Doğru ölçüm yapabilmek için doğru faktörlerin belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Belirlenen faktörlerin gruplanarak birleştirilmesi ise kullanım kolaylığı bakımından fayda sağlayacaktır. Literatürde yapılan araştırmaların birçoğunda, çalışmaları daha sistematik ilerletebilmek ve faktörlerin anlaşılmasını kolaylaştırabilmek için karmaşıklık faktörleri belirli kategoriler altında gruplandırılmıştır.

Proje karmaşıklığının ölçülmesine yönelik boyutların, bu boyutların altında yer alan faktörlerin ve söz konusu

faktörleri ölçülebilir kılan göstergelerin belirlenmesi, literatür araştırması [2, 7, 9, 13, 23, 25], uzmanlarla mülakat [3, 9, 13, 21], çalıştay [10, 18, 25], vaka analizi [3, 12], anket [16], Delfi metodu [7] gibi tekniklerle gerçekleştirilebilir. İlgili boyutlar, bu boyutların altında yer alan faktörler ve göstergeler belirlendikten sonra ölçüm çeşitli araç ve yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Literatürde bu amaçla Karmaşıklık Haritalandırma Aracı [15], CIFTER Proje Karmaşıklık Ölçüm Aracı [22], Sistem Dinamiği [32], Simülasyon [2], Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) [7], Proje Karmaşıklık Değerlendirme ve Yönetme Aracı (PCAM) [19], Karmaşıklık Değerlendirme Aracı (CAT) [25], Yapısal Eşitlik Modelleme, vb. istatistiksel teknikler [16, 17] kullanılmıştır.

Proje karmaşıklığı değerlendirilirken, projelerde çeşitli faaliyetlerin gerçekleştirildiği, bu faaliyetlerin insanlar tarafından yürütüldüğü/yönetildiği, projelerin bir organizasyonun içerisinde gerçekleştiği ve bu organizasyonun sürekli etkileşim halinde olduğu bir çevrede faaliyet gösterdiği hususları göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer bir ifadeyle, proje karmaşıklığı ölçülürken bu boyutların tamamının –iş, insan, organizasyon ve çevre- dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında proje karmaşıklığının ölçülmesi için, yukarıda belirtilen bu gerekliliğin karşılanması; yani projelerin sadece kendisinin değil, projeleri etkileyen içsel ve dışsal tüm faktörlerin değerlendirilmesi düşüncesinden hareketle, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bütünsel bir bakış açısıyla, projenin kendisinden, projenin gerçekleştiği organizasyondan, projenin etkileşim içinde olduğu görev çevresinden ve içinde bulunulan genel çevreden oluşan ve detayları Şekil 3’te gösterilen proje ekosistemi temel alınmıştır. Bu bağlamda, literatür araştırması sonucunda belirlenen karmaşıklık ölçümüne ilişkin göstergeler, belirtilen bu proje ekosistemin kapsamına göre dört temel boyut altında ele alınmıştır: (i) operasyonel karmaşıklık, (ii) yönetsel karmaşıklık, (iii) organizasyonel karmaşıklık ve (iv) çevresel karmaşıklık. Operasyonel ve yönetsel karmaşıklık proje ekosisteminin proje katmanında (iş ve insan boyutu), organizasyonel karmaşıklık

organizasyon katmanında (organizasyon boyutu), çevresel karmaşıklık da görev çevresi ve genel çevre katmanlarında (çevre boyutu) oluşabilecek karmaşıklıklara karşılık gelmektedir. Her bir temel boyut altında yer alan faktörler, literatürde çoğunlukla ayrı birer karmaşıklık boyutu olarak ele alınan, büyüklük, çeşitlilik, ilişkiler, etkileşim, belirsizlik, yenilik, değişkenlik, zorluk ve risk gibi alt boyutlar ile ayrıştırılmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelenerek elde edilen boyutların yeni bir bakış açısıyla derlenmesi sonucu oluşturulan proje karmaşıklığı modeli Şekil 4’te gösterilmektedir. Bu çalışma, proje karmaşıklığının tanımlandığı, boyutlarının belirlendiği ve karmaşıklık seviyesini ölçecek bir metodolojinin sunulduğu bütünlük bir çalışma olma özelliğini taşımaktadır.

Geliştirilen proje karmaşıklığı ölçüm modeli, projenin direkt olarak ilişkili olduğu iş süreçleri ve insani boyutları; projenin gerçekleştiği organizasyona ait organizasyonel yapı, kültür, süreç ve prosedürlerin proje üzerinde oluşturacağı etkileri; projenin gerçekleşmesi için direkt olarak etkileşim içinde bulunulan tedarikçi, müşteri, yüklenici, partner ve rakipleri ve proje üzerinde dolaylı da olsa etkisi olan teknolojik, ekolojik, sosyal, yasal, ekonomik, politik ve doğal çevre ile ilgili unsurları kapsamaktadır. Dolayısıyla da, projenin başarısını olumsuz yönde etkileyebilecek karmaşıklık unsurlarının bütünsel olarak değerlendirilebilmesine ve kritik karmaşıklık unsurlarının göz ardı edilmesinin önlenmesine imkân sağlamaktadır.

Literatürde belirtildiği üzere karmaşıklığı oluşturan yüzlerce faktörden söz etmek mümkündür. Karmaşıklık ölçümünün efektif bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ve proje yönetim sisteminin bir parçası haline gelebilmesi için, karmaşıklığın doğru bir şekilde ölçülmesi kadar kolay bir şekilde ölçülmesi de önem taşımaktadır. Bu bağlamda, geliştirilen ölçüm modelinde karmaşıklık ölçüm göstergelerinin belirtilen proje ekosistemi çerçevesinde gruplanarak birleştirilmiş olması, kullanım kolaylığı bakımından fayda sağlamaktadır.



Şekil 4. Proje karmaşıklığı çerçevesi

2.1. Operasyonel Karmaşıklık

Operasyonel karmaşıklık projelerde karmaşıklık yaratan faktörlerin iş yönetimi ile ilgili olan kısımlarını ifade etmektedir. Proje kapsamı, projede gerçekleştirilen işler, kullanılan yöntem, teknoloji, süreç ve standartlar ile faaliyetlerin gerçekleştirilmesi ile ilgili tüm faktörler bu kapsamda değerlendirilmektedir. Operasyonel karmaşıklıkta etkisi büyük olan alanlardan biri projede kullanılan teknolojilerdir. Proje karmaşıklığı açısından ele alındığında teknoloji, girdileri çıktılara dönüştüren bir dönüşüm süreci olarak tanımlanabilir. Bu dönüşüm süreci malzeme, araç, teknik, tecrübe ve bilgilerden faydalanmaktadır ki bunlar da bu çalışmada operasyonel karmaşıklık boyutu altında dikkate alınan konulardır.

Çalışma kapsamında literatür araştırması sonuçlarından hareketle proje karmaşıklığını etkileyen temel göstergelerden, operasyonel boyut kapsamında değerlendirilebilecek olanlar '*operasyonel çeşitlilik ve büyüklük*', '*operasyonel ilişkiler ve etkileşim*', '*operasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik*', '*operasyonel zorluk*' ve '*operasyonel risk*' olarak belirlenmiştir. Bu boyutların kapsamları aşağıda özetlenmiştir.

2.1.1. Operasyonel çeşitlilik ve büyüklük

Operasyonel çeşitlilik ve büyüklük, projedeki işler, yöntemler, kullanılan teknolojiler ve kalite/maliyet/zaman gibi hedeflerin sayısının ve çeşitliliğinin yanı sıra projenin kapsam genişliği, kapsam dahilindeki planlama ve uygulamaların gerektirdiği çabanın ve proje bütçesinin büyüklüğünü ifade etmektedir. Bu kapsamda değerlendirilen göstergeler:

- Projedeki operasyonel öğelerin (işlerin, girdi ve çıktılar, yöntem ve yaklaşımların, kullanılan teknolojilerin) sayısı ve çeşitliliği
- Operasyonel hedeflerin (genel hedefler; kalite, maliyet ve zamansal hedefler) sayısı ve çeşitliliği
- Projenin finansal ölçek büyüklüğü (ayrılan bütçe ve maliyetler)
- Projenin kapsam genişliği (içerikte yer alan maddelerin sayısı ve yoğunluğu)
- Operasyonel planlama ve uygulama büyüklüğü (işlerin bir araya getirilmesinin ve gerçekleştirilmesinin gerektirdiği çabanın büyüklüğü)

2.1.2. Operasyonel ilişkiler ve etkileşim

Operasyonel ilişkiler ve etkileşim, projedeki işler, yöntemler, kullanılan teknolojiler ve hedefler arasındaki bağımlılık ilişkilerini, planlama ve süreçlerdeki sıralılık ilişkilerini ve etkileşimleri ifade etmektedir. Bu kapsamda değerlendirilen göstergeler:

- Operasyonel hedeflerin bağımlılığı (hedefler arasındaki ilişkisellik)

- Projedeki öğelerin bağımlılığı, etkileşimleri, sıralılık ilişkileri (operasyonel açıdan takvimler, planlamalar, görevler, süreçler arası bağımlılık ve etkileşimler)

2.1.3. Operasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik

Operasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik, gerçekleştirilen işin detaylarına yönelik belirsizlikler, kalite, zaman gibi operasyonel hedeflere, yöntem ve süreçlere ilişkin belirsizlikler ile operasyonel etki yaratan kapsam, vb. değişiklikleri ve projedeki yeni veya tanınmayan öğeleri ifade etmektedir. Bu kapsamda değerlendirilen göstergeler:

- Kapsam ve operasyonel hedeflerdeki belirsizlikler (yapılacak işe ait detaylardaki veya kalite/zaman/maliyet hedeflerindeki belirsizlikler)
- Operasyonel yöntem ve süreçlerle ilgili belirsizlikler
- Operasyonel etki yaratan değişkenlik (kapsam değişikliği, talep değişikliği, vb. sıklığı ve büyüklüğü)
- Operasyonların ve süreçte kullanılan öğelerin yeniliği (ilk kez denenen teknolojilerin, tekniklerin, metodolojilerin varlığı)

2.1.4. Operasyonel zorluk

Operasyonel zorluk, işlerin doğasından kaynaklı uygulama zorluklarını, entegrasyon sürecindeki zorlukları ve bağımlılıkların fazla olduğu durumlardaki planlama zorluklarını ifade etmektedir. Gerçekçi olmayan operasyonel beklentiler de operasyonel zorluk altında değerlendirilmektedir. Bu kapsamda değerlendirilen göstergeler:

- Teknik zorluklar (işlerin ve kullanılan yöntemleri uygulamanın zorluğu, kritik aktivitelerin sayısı veya standartların karmaşıklığı)
- Entegrasyon-operasyonel planlama ile ilgili zorluklar (işlerin öncelik/bağımlılık durumuna göre planlanmasındaki zorluklar)
- Gerçekçi olmayan operasyonel beklentiler (kalite, zaman, maliyet, hız ile ilgili gerçekçi olmayan beklentiler)

2.1.5. Operasyonel risk

Meydana gelmesi durumunda projedeki işlerin gerçekleşmesini olumsuz etkileyebilecek durumları (bağımlı işlerden ön şart olanın teknik bir sorun sebebiyle aksaması, vb. işin yapılması açısından engel yaratabilecek, gecikmelere sebep olabilecek teknik riskler) ifade etmektedir.

2.2. Yönetmel Karmaşıklık

Yönetmel karmaşıklık projelerde karmaşıklık yaratan faktörlerin insan yönetimi ile ilgili olan kısımlarını ifade etmektedir. Proje ekibinde yer alan çalışanlarla ve organizasyonun diğer birimlerinde projeye dahil

olmayan çalışanlarla ilgili sayı, çeşitlilik, ilişkiler, eğitim, yetkinlik, yönetim gibi hususlar bu kapsamda değerlendirilmektedir. Yönetmel karmaşıklık proje ile ilişkili tüm kişilerin yönetimi ile ilgilenirse de en büyük pay projede doğrudan çalışan kişilere aittir. Projenin gerçekleşmesi için bu kişilerin eğitim, tecrübe ve yetkinlik seviyelerine göre uygun pozisyonlarda görevlendirilmesinden kişilerin takvimlerine, planlamalarına kadar insan ile ilgili tüm sorumlulukları içerir.

Çalışma kapsamında literatür araştırması sonuçlarından hareketle proje karmaşıklığını etkileyen temel göstergelerden, yönetmel boyut kapsamında değerlendirilebilecek olanlar '*yönetmel çeşitlilik ve büyüklük*', '*yönetmel ilişkiler ve etkileşim*', '*yönetmel değişkenlik ve belirsizlik*', '*yönetmel zorluk*' ve '*yönetmel risk*' olarak belirlenmiştir. Bu boyutların kapsamı aşağıda özetlenmiştir.

2.2.1. Yönetmel çeşitlilik ve büyüklük

Yönetmel çeşitlilik ve büyüklük, projede direkt olarak çalışan bireylerin sayısı ile dil, kültür, lokasyon, beklenti, ilgili alanı, vb. çeşitliliği, uzmanlıkların ve dahil olan disiplinlerin çeşitliliği ve iletişim kurulan alanların sayısını ifade etmektedir.

- Proje ekibindeki kişilerin sayısı ve dil, kültür, lokasyon, beklenti, ilgili alanı, vb. çeşitliliğinden kaynaklanan farklılık düzeyi
- Projedeki uzmanlıkların sayısı ve çeşitliliği
- Proje ekibi için etkileşim alanlarının (arayüzlerin) sayısı ve çeşitliliği

2.2.2. Yönetmel ilişkiler ve etkileşim

Yönetmel ilişkiler ve etkileşim, projede direkt olarak çalışan bireyler arası iletişim, güven, şeffaflık ve bilgi paylaşımını; takvimler, planlamalar, görevler ve süreçler arası bağımlılık ve etkileşimleri ifade etmektedir.

- Proje ekibi için etkileşim ve bağımlılık düzeyi (takvimler, planlamalar, görevler, süreçler arası bağımlılık ve etkileşimler)
- Proje ekibi için iletişim, ilişki ve ortak anlayış düzeyi (iletişim, güven, şeffaflık, bilgi aktarımı)

2.2.3. Yönetmel değişkenlik ve belirsizlik

Yönetmel değişkenlik ve belirsizlik, zayıf tanımlanmış, gerektirdiği uzmanlık seviyesi belirsiz olan rollerin varlığından kaynaklanan belirsizlikleri ve takım üyelerinin değişmesi, uzmanlık ihtiyaçlarındaki değişimler, vb. değişkenliklerin sıklığını ve etkilerinin büyüklüğünü ifade etmektedir.

- Proje ekibine ilişkin değişkenlik (takım üyelerinin değişmesi, uzmanlık ihtiyaçlarındaki değişimler, vb. sıklığı ve büyüklüğü)
- Proje ekibinin kullanacağı yöntem ve süreç ile ilgili belirsizlikler (zayıf tanımlanmış, gerektirdiği uzmanlık seviyesi belirsiz olan roller)

2.2.4. Yönetmel zorluk

Yönetmel zorluk, süreçlerdeki iletişim ve koordinasyon, görevlerin uygun yetki ve sorumluluk çerçevesinde dağıtılması, vb. konularda karşılaşılan zorlukları ifade etmektedir.

2.2.5. Yönetmel risk

Meydana gelmesi durumunda projedeki bireylerin çalışmasını olumsuz etkileyebilecek durumları (projedeki uzman kişinin işten ayrılması sebebiyle işin aksaması, vb.) ifade etmektedir.

2.3. Organizasyonel Karmaşıklık

Literatürdeki birçok çalışmada proje karmaşıklığını etkileyen en önemli faktörlerden biri olarak organizasyonel karmaşıklık yerini almıştır. Organizasyonel karmaşıklık, projenin gerçekleştiği organizasyonda var olan ve projenin gerçekleşme sürecine etki edebilecek her türlü süreç ve sistemlerdeki karmaşıklığı ifade etmektedir. Organizasyon yapısı, organizasyondaki dikey farklılaşma (hiyerarşik yapı), organizasyondaki yatay farklılaşma (organizasyonel birimler), merkezilik/resmileşme derecesi (kararların alındığı seviye), iletişim derecesi (formel-informel akış seviyesi), kurum kültürü, vizyon ve hedefler, süreç ve standartlar, kaynaklar gibi faktörler proje ile ilgili organizasyonel karmaşıklığa sebep olabilecek başlıca faktörler arasında yer almaktadır.

Vidal ve Marle (2008)'ye göre proje karmaşıklığı faktörlerinin yaklaşık %70'i organizasyonel faktörlerdir [20]. Organizasyonların gün geçtikçe büyümesi, rekabetin artması, iş dünyasının genişlemesiyle birlikte odak noktalarının farklılaşması gibi durumlar, organizasyonları daha karmaşık bir hale getirmektedir. Organizasyonlar, günümüz dünyasında artan rekabet koşullarında hayatta kalabilmek üzere yapılarını yatay ve dikey olarak farklılaştırmaya yönelmekte ve bundan doğan iç bağımlılıklar organizasyonel karmaşıklığı artırmaktadır [17]. Maylor ve Turner (2017)'da dinamik çevrelerin, genişlemiş kontrol döngülerinin ve yasa, mevzuat, kurumsal sosyal sorumluluk gibi devam eden sistemlere gelen ek kısıtların bir sonucu olarak organizasyonların artan bir şekilde karmaşık sistemler olarak görüldüğünü vurgulamıştır [25].

Çalışma kapsamında literatür araştırması sonuçlarından hareketle proje karmaşıklığını etkileyen temel göstergelerden, organizasyonel boyut kapsamında değerlendirilebilecek olanlar '*organizasyonel çeşitlilik ve büyüklük*', '*organizasyonel ilişkiler ve etkileşim*', '*organizasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik*' ve '*organizasyonel risk*' olarak belirlenmiştir. Bu boyutların kapsamı aşağıda özetlenmiştir.

2.3.1. Organizasyonel çeşitlilik ve büyüklük

Organizasyonel çeşitlilik ve büyüklük, paydaşların sayısı ile dil, kültür, lokasyon, beklenti, ilgili alanı, vb.

açından organizasyondaki çeşitliliğin yanı sıra organizasyondaki birim ve bölümlerin sayısı, çeşitliliği ve yapısını ifade etmektedir.

- Paydaşların sayısı ve organizasyondaki çeşitlilik (paydaşların sayısı ve dil, kültür, lokasyon, beklenti, ilgi alanı bakımından organizasyondaki çeşitlilik)
- Organizasyonel yapı (organizasyondaki birim ve bölümlerin sayısı, organizasyonel yetkinliklerin tipleri)

2.3.2. Organizasyonel ilişkiler ve etkileşim

Organizasyonel ilişkiler ve etkileşim, organizasyon stratejisi ile proje hedeflerinin uyumu, kararların alındığı seviye ve bölümler/birimler arası bağımlılık ve etkileşimler, paydaşların uyumu, iletişimi ile iletişimde güven, şeffaflık gibi konuları ifade etmektedir.

- Organizasyonel bağımlılıklar (organizasyon stratejisi ile proje hedeflerinin uyumu, yapıya göre kararların alındığı seviye ve bölümler/birimler arası bağımlılık ve etkileşimler)
- Organizasyonel iletişim ve ilişki düzeyi (paydaşların uyumu, paydaşlar arası iletişim, iletişimde güven, şeffaflık)

2.3.3. Organizasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik

Organizasyonel belirsizlik, vizyon, misyon, organizasyonel yapının yanı sıra performans göstergeleri, süreç ve standartlardaki belirsizlikler ile organizasyonel belirsizlikleri; organizasyonel değişkenlik organizasyon genelinde kullanılan teknolojilerin, organizasyonun sahip olduğu finansal kaynakların, vs. süreç içinde değişimini ifade etmektedir. Yeni organizasyonel yapılar organizasyonel yenilik olarak değerlendirilmiş ve bu boyut altında ele alınmıştır.

- Organizasyonel yenilik (yeni organizasyonel yapı)
- Organizasyonel değişkenlik (teknolojik, finansal, vb. kaynaklardaki değişimler, bu değişimlerin sıklığı ve büyüklüğü)
- Organizasyonel belirsizlik (vizyon, misyon, organizasyonel yapının yanı sıra performans göstergeleri, süreç ve standartlardaki belirsizlikler)

2.3.4. Organizasyonel risk

Meydana gelmesi durumunda organizasyonun işleyişini olumsuz etkileyebilecek durumları (organizasyonel yapı değişikliği, şirket birleşmeleri, vb.) ifade etmektedir.

2.4. Çevresel Karmaşıklık

Çevresel karmaşıklık, projenin tedarikçileri, müşterileri, rakipleri ve yüklenicilerinden, projenin gerçekleştiği ülkede ve hatta global dünyada gerçekleşen teknolojik, politik, sosyal ve ekonomik gelişmeler, yasalar, doğal çevre ile ilgili konulara kadar

çok geniş bir çerçeveyi kapsamaktadır. Tüm çevresel faktörler proje karmaşıklığını etkilemektedir, öyle ki Bosch-Rekvaldt ve diğ. (2011) ilgi ve ihtiyaçları çevreye bağlı değişebilen proje paydaşlarının bile çevresel karmaşıklığı etkilediğini ifade etmiştir [13].

Çevresel karmaşıklık faktörleri ele alınırken projeleri doğrudan etkileyen görev çevresinin (mikro çevre) yanı sıra projeleri dolaylı olarak etkileyen genel çevrenin (makro çevre) de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Görev çevresi, projeye girdi sağlayan ve projenin çıktılarını talep eden unsurları kapsamında barındıran çevredir. Projenin tedarikçileri, müşterileri, rakipleri, yüklenici ve partnerlerinden oluşur. Görev çevresinde ortaya çıkan herhangi bir değişiklik projeyi doğrudan etkiler. Genel çevre ise, projeye doğrudan girdi sağlamayan ancak içindeki herhangi bir değişiklik ile projeye etki edebilecek ve projenin karmaşılaşmasına yol açacak geniş çevreyi ifade etmektedir. Ülkede ve dünyada gerçekleşen teknolojik gelişmeler, sosyal olaylar, politik olaylar, ekonomik değişiklikler, getirilen yasal değişiklik ve düzenlemeler, doğal çevre ve ekolojik değişimler projelere yön vermektedir. Bu sebeple proje karmaşıklığı değerlendirilirken bu faktörlerin de mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında literatür araştırması sonuçlarından hareketle proje karmaşıklığını etkileyen temel göstergelerden, çevresel boyut kapsamında değerlendirilebilecek olanlar '*çevresel çeşitlilik ve büyüklük*', '*çevresel ilişkiler ve etkileşim*', '*çevresel değişkenlik ve belirsizlik*', '*çevresel zorluk*', '*rekabet*' ve '*çevresel risk*' olarak belirlenmiştir. Bu boyutların kapsamı aşağıda özetlenmiştir.

2.4.1. Çevresel çeşitlilik ve büyüklük

Çevresel çeşitlilik ve büyüklük, paydaşların ve projenin görev çevresinde yer alan dış bağımlılıkların sayısı ve çeşitliliği ile genel çevrede var olan çeşitliliği ifade etmektedir.

- Görev çevresindeki çeşitlilik ve paydaşların sayısı (dış bağımlılıkların (kaynaklar, vs.) ve paydaşların sayısı ve çeşitliliği)
- Genel çevredeki çeşitlilik (projeye dahil edilmemiş farklı teknolojilerin, vb. varlığı ve çeşitliliği)

2.4.2. Çevresel etkileşim ve ilişkiler

Çevresel etkileşim ve ilişkiler, paydaşların davranışları, ilişkileri, uyumu, bilgi paylaşımı gibi iletişim ve etkileşim ile ilgili kavramları ve dış bağımlılıkların derecesini ifade eder. Hem görev çevresi hem de genel çevrede karşılaşılabilecek dış paydaşların onay ihtiyaçları ve sağlık, güvenlik, çevre farkındalığı gibi konulardaki beklentiler bu boyut altında değerlendirilmektedir. Organizasyon dışı teknolojik, yasal, sosyal ve çevresel olayların projeye etkileri de bu kapsama alınmıştır.

- Görev çevresindeki paydaşların tutumları, ilişki

- ve iletişim düzeyi (uyum, bilgi paylaşımı)
- Görev çevresindeki dış bağımlılık derecesi
- Görev çevresi ve genel çevredeki dış paydaşların onay ihtiyaçları ve teftiş gereklilikleri
- Görev çevresi ve genel çevredeki beklentiler (sağlık, güvenlik konuları ve çevre farkındalığı)
- Genel çevredeki teknolojik, yasal, sosyal ve ekolojik etkiler

2.4.3. Çevresel değişkenlik ve belirsizlik

Çevresel değişkenlik ve belirsizlik, aniden ortaya çıkan yeni teknolojiler, yasalar, vb. değişiklikleri ve hava koşulları, iklim, pazarın durumu, hükümetin durumu gibi belirsizlikleri ifade etmektedir.

- Çevresel değişkenlik (aniden ortaya çıkan yeni teknolojiler, yasalar, vb. değişiklikler, paydaşlarla ilgili yaşanan değişiklikler ile bu değişikliklerin sıklığı ile büyüklüğü)
- Çevresel belirsizlik (hava koşulları, iklim, pazarın durumu, hükümetin durumu, vb. genel çevredeki ve görev çevresindeki belirsizlikler)

2.4.4. Çevresel zorluk

Çevresel zorluklar, proje için gerekli izin sayısı, izin almanın zorluğu, yasal düzenlemeler, güvenlik konusundaki beklentiler, iklim koşulları, vb. zorlayıcı koşullara uyum sağlama gibi zorlukları ifade etmektedir.

2.4.5. Rekabet

Rekabet seviyesi ve rekabet halinde olunan rakiplerin durumlarının proje işleyişine etkilerini ifade etmektedir.

2.4.6. Çevresel risk

Meydana gelmesi durumunda projenin işleyişini olumsuz etkileyebilecek durumları (piyasa şartlarındaki dalgalanmalar, vb.) ifade etmektedir.

III. DİJİTAL BANKACILIK PROJELERİNDE PROJE KARMAŞIKLIĞININ ÖLÇÜMLENMESİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

Karmaşıklık ayrı bir kavram olarak proje yönetiminde yer almadığı durumlarda, proje işleyiş sırasında ortaya çıkan proje karmaşıklığı, proje yöneticilerinin bilgi, beceri ve tecrübeleri doğrultusunda yönetilmeye çalışılmaktadır. Bu süreçte başarı büyük ölçüde proje yöneticisine bağlı kalmaktadır. Ancak her proje yöneticisinin uzmanlık alanlarının ve tecrübelerinin farklı olması ve proje karmaşıklığının çok geniş bir kavram olması sebebiyle, proje yöneticilerinin her türlü karmaşıklığı başarılı bir şekilde yönetmeleri mümkün olmayabilir. Projenin sorumlusu, proje için gerekli yetkinliklere sahip bir proje yöneticisi olsa dahi, karmaşıklık yaratan durumlar ile karşılaştığında, gerekli aksiyonları

almak için geç kalınması durumu söz konusu olabilir. Dolayısıyla, projelerde başarıyı sağlamak, karmaşıklık yaratabilecek faktörlerin önceden belirlenmesi ve ölçülmesi ile büyük oranda ilişkilidir. Bu bölümde, karmaşıklık ölçülmesi ve farklı iki projenin karmaşıklık seviyelerinin karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilen bir uygulamaya yer verilecektir.

Gerek literatürde yer alan çalışmalarda gerekse de pratik uygulamalarda, soyut bir kavram olması sebebiyle proje karmaşıklığının ölçülmesi, kavramın kapsamını ifade eden somut göstergelerin belirlenmesine dayanmaktadır. Topçu (2019) karmaşık bir sorunla karşılaşıldığında, ilgili sorunu daha iyi anlamak ve çözüm üretebilmek için sorunun bileşenlerine ayrılması ve bu bileşenlerin hiyerarşik bir şekilde düzenlenmesinin, sorunun çözümünde kolaylık sağlayacağını ifade etmiştir [33]. Bu doğrultuda öncelikle proje karmaşıklığında etkili olacak temel faktörlerin belirlenmesi, daha sonra belirlenen faktörlerin ve bu faktörleri somutlaştıran göstergelerin, ortak noktaları doğrultusunda oluşturulacak boyutlar altında gruplanması, proje karmaşıklığının ölçümünü kolaylaştıracak ve karmaşıklığa bütünsel bir bakış açısıyla daha geniş bir çerçeveden bakılabileceğini olanak sağlayacaktır. Karmaşıklığa ilişkin faktörlerin ilgili boyutlar altında ifade edilmesi ile karmaşıklık yaratacağı düşünülen faktörler ortaya konmuş olmakla birlikte, bu faktörlerin gerçekten karmaşıklık yaratıp yaratmayacakları veya yarattıklarında proje başarısını ne derece etkileyecekleri, ancak proje karmaşıklığının ölçülmesi ile mümkün olacaktır.

Proje karmaşıklığının ölçümü için geliştirilen ölçüm araçlarından biri olan CIFTER, GAPPS tarafından oluşturulmuş, karşılaştırmalı proje karmaşıklık ölçme aracıdır. Belirlenen yedi faktör için 1 ile 4 arası yapılan puanlandırmalar ile karmaşıklık ölçümü gerçekleştirilmektedir [22]. PCAM - Proje Karmaşıklığı Değerlendirme ve Yönetme Aracında ise önceden belirlenmiş gösterge seti, ilgili proje kapsamında uzman görüşleri ile sıralanır ve programa girdi olarak verilir; program girdileri değerlendirerek en önemli göstergeleri ortaya koyar [19]. CAT - Karmaşıklık Değerlendirme Aracı, uzmanların karmaşıklık boyutları, faktörleri ve faktörlerin önem derecelerini belirleyebilmek için tartışabilecekleri bir platform sunan bir araçtır [25]. Remington ve Pollack (2016) tarafından ortaya atılan Karmaşıklık Haritalandırma Aracı ise belirlenen boyutlara göre uzmanların karmaşıklık seviyelerini değerlendirmesi ve sonuçların görselleştirme yoluyla daha iyi anlaşılmasını sağlayan bir araçtır [15]. Bu tür ölçüm araçlarının ortak özelliği, araçları geliştiren kişilerin belirlediği boyutlar temel alınarak ölçüm yapılabilir olmasıdır.

Öte yandan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Analitik Ağ Süreci (ANP), proje karmaşıklığı ölçülmesinden bağımsız olarak bir problemi

etkileyen değişkenlerin ikili kıyaslamalar yoluyla değerlendirilmesi ve ağırlıklarının ölçülmesini sağlayan Çok Kriterli Karar Verme araçlarıdır [34]. AHP ve ANP'de ölçüm için her soruna ilişkin amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan bir hiyerarşi ya da ağ oluşturulur. AHP'de alternatifler kriterleri, kriterler de amacı etkilemektedir. Kriterlerin alternatifleri etkilemediği, kriterlerin ve seçeneklerin kendi içlerinde birbirinden bağımsız oldukları varsayılmaktadır [33]. ANP ise bağımlılık ve geri beslemeleri de barındırır ve daha hassas bir ölçüme olanak tanır [35].

Bu çalışmada oluşturulan proje karmaşıklığı ölçümleme çerçevesi, bünyesinde bağımlı faktörleri barındırdığından, ölçüm yöntemi olarak ANP yöntemi seçilmiştir.

3.1. Analitik Ağ Süreci (ANP)

Karmaşık yapıları süreçlerde yer alan olaylar ve elemanlar, çok sayıda değişkenden etkilenmektedir. Süreçteki karmaşıklığın anlaşılması için onu oluşturan faktörlerin belirlenmesi ve bir araya getirilmesi gerekmektedir. Faktörler doğru bir şekilde tanımlandıktan sonra çözüme yönelik oluşturulan alternatifler içinden doğru bir seçim yapılması, süreci karmaşıktırnan nitel ve nicel tüm faktörleri göz önünde bulunduran bir Çok Kriterli Karar Verme Yönteminin kullanılması ile mümkün olacaktır. Herhangi bir araştırmada çalışmanın amacı, bu amaca etki eden faktörler ve çözüm alternatiflerinin hiyerarşik bir düzende yer aldığı AHP'de, alternatifler faktörleri, faktörler de amacı etkilerken, faktörlerin alternatifleri etkilemediği varsayılır [33]. Bu yaklaşıma göre faktörler ve alternatifler birbirinden bağımsızdır. Ancak ANP, tek yönlü ilişkilerle sınırlı kalmayıp karmaşık ilişkileri ve faktörlerin ve alternatiflerin bağımlılığını de dikkate alarak daha doğru tahminler ile karar vermeye olanak sağlar. AHP gibi ikili karşılaştırmalara dayanan ANP, amaç, amacı etkileyen faktörler ve çözüm alternatiflerini bir ağ şeklinde ortaya koyarak, doğrudan ilişkilendirilmemiş bileşenler arasındaki dolaylı ilişkileri ve geri beslemeleri de göz önünde bulundurmaya fırsat tanır [34]. Amaç, faktörler ve alternatifler ayrı kümeler içerisinde gösterilir.

ANP dört temel adımdan oluşmaktadır: (i) model kurulması ve problemin yapılandırılması, (ii) ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörleri, (iii) süpermatris oluşturma ve (iv) en iyi alternatifin seçilmesi.

3.1.1. Model Kurulumu ve Problem Yapılandırması

Model kurulması ve problem yapılandırması adımı karar probleminin tanımlanması ve bağımlılıkların tespit edilmesi süreçlerini barındırır. Problem açık bir şekilde ifade edilmeli ve ağ gibi rasyonel bir sistemle ayrıştırılmalıdır [36]. Kriterler ve alt kriterler arasındaki tek yönlü ve karşılıklı tüm ilişkiler ortaya konmalıdır.

3.1.2. İkili Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörleri
İkili karşılaştırma matrisleri, uzmanlardan toplanan verilerle oluşturulur. Karar vericilerden, bir kerede iki elemanı (kriter ya da alt kriter) kendi üst düzey kriterlerine nasıl katkıda buldukları açısından karşılaştırılacağı bir dizi ikili karşılaştırmaya yanıt vermeleri istenir. Göreceli önem değerleri, 1 ile 9 arasında bir ölçekle belirlenir. 1 puan, karşılaştırılan iki elemanın üst düzey kriterine göre eşit öneme sahip olduğu anlamına gelirken, 9 puan, karşılaştırılan iki elemandan birinin diğerine göre aşırı öneme sahip olduğunu gösterir.

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken kümeler arası, aynı küme içlerinde yer alan elemanlar arası ve tüm elemanlar ile alternatifler arası karşılaştırmalardan yararlanılır. İkili karşılaştırmalar ile elde edilen öncelik vektörleri, söz konusu elemanların göreceli önem değerlerini tahmin etmek için kullanılır.

3.1.3. Süpermatris Oluşturma

Birbirine bağımlı etkilere sahip bir sistemde global öncelikleri elde etmek için, bir önceki adımda elde edilen yerel öncelik vektörleri, 'süpermatris' olarak adlandırılan bir matrisin sütunlarına girilir. Süpermatris, aslında her matris segmentinin, bir sistemde var olan iki düğüm (bileşenler veya kümeler) arasındaki ilişkiyi temsil ettiği, bölümlenmiş bir matristir. Süpermatriste yer alan değerler iki bileşenin birbirine etkisini ifade ederken, sıfır değeri iki bileşenin birbirine etkisi olmadığı anlamına gelmektedir. Ağırlıklı süpermatrisin elde edilmesi için süpermatriste yer alan her sütunun toplamı bir olacak şekilde dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm işlemi sonucunda ağırlıklı süpermatris elde edilir. Sistemde yer alan bileşenlerin birbirlerine olan uzun dönemli etkilerini elde etmek üzere, ağırlıklı süpermatrisin $(2k + 1)$. üssü alınır. Burada k keyfi olarak belirlenen büyük bir sayıdır ve oluşan bu yeni matris, 'limit süpermatris' olarak adlandırılır. Limit süpermatris bütün sütunları aynı olan bir matristir. Bu matriste yer alana bloklar normalize edilerek, her bir elemanın öncelikleri belirlenir.

3.1.4. En İyi Alternatifin Seçilmesi

ANP'ye göre en yüksek öncelik seviyesine sahip olduğu belirlenen kriterler, çalışma için anlamlı olanlardır. Yapılan çalışmada amaç alternatiflerinden birini seçmekse yüksek önceliğe sahip alternatif seçilebilir veya yapılan çalışmada amaç bir konu ile ilgili en kritik faktörü belirlemekse, bu adımda en yüksek öncelik seviyesine sahip faktör en önemli faktör olarak atanabilir.

3.2. Uygulama

Çalışmada gerçekleştirilen uygulama kapsamında dijital bankacılık projelerinde proje karmaşıklığının ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, literatür araştırmalarında yer alan çalışmalar incelenerek elde edilen boyutların yeni bir bakış açısıyla derlenmesi

sonucu oluşturulan model baz alınarak, uzman görüşlerinden elde edilen veriler ile dijital bankacılık projelerinde karmaşıklık yaratan ve/veya etkileyen en kritik faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, seçilen iki proje değerlendirilmiş ve projelerin karmaşıklık düzeyleri ile proje bazında karmaşıklık yaratan faktörler belirlenmiştir. Çalışma, hangi projenin daha karmaşık olduğunu ortaya çıkarmaya da fırsat tanımıştır.

Çalışmada ele alınan projelerden birincisi “Müşteri Sadakat Projesi”dir. Proje, bankanın pos cihazlarına sahip üye işyerlerinin poslarından gerçekleşmiş dataların baz alınması yoluyla üye işyerlerine kendi datalarından derlenmiş raporlar üretmek muhasebe süreçlerini kolaylaştırmak, üye işyerlerinin bu raporlara göre kendi kampanyalarını yaratmasına imkan tanımak ve ihtiyaçları olan birçok konuda hızlı ve kolay bir şekilde aksiyon alabilmelerini sağlamak amacıyla bir web platformu oluşturmayı hedeflemiştir. Projede şirket kadrosunda çalışan toplamda 9 iş analisti ve yazılım geliştirme mühendisi aktif olarak yer almış, bunun dışında dış kaynak olarak ilave 4 yazılımcı görevlendirilmiştir. Şirket bünyesinde bir analiz ve bir yazılım yöneticisi de yönetim faaliyetlerini üstlenmiştir. Proje için şirket kadrosunda çalışanların harcadığı efor toplam 12.691 adam*saat’tir. Projenin önyüz tasarımları için banka dışı bir firmadan destek alınmıştır. Farklı bir firma ile çalışılması ve müşteri için doğrudan bir çıktı oluşturulması bakımından geniş bir kitleyi kapsamında tutmuştur.

Çalışmada ele alınan diğer proje ise “Proaktif Limit Artırım Projesi”dir. Proje, banka risk ekiplerinin üye işyerlerinden geçen ciroları kontrol altında tutmak amacıyla oluşturduğu işlem limitlerinin uygun şartlarda proaktif bir şekilde artırılmasını amaçlamaktadır. Bu sayede hem müşteri memnuniyetini artırmak hem de riskli bir durum olmamasına rağmen bankadan geçen cironun engellenmesi durumunu ortadan kaldırmak hedeflenmiştir. Projede iş analisti ve yazılım geliştirme uzmanlarından oluşan 11 kişilik bir ekip aktif olarak görev almıştır. Proje için toplamda 19.707 adam*saat’lik efor harcanmıştır. Şirket bünyesinde bir analiz ve bir yazılım yöneticisi de yönetim faaliyetlerini üstlenmiştir.

3.2.1. Veri Toplama

Veri toplama için Türkiye’nin en büyük sermayeli ilk 3 bankasından birinin teknoloji merkezinde gerçekleştirilen “Müşteri Sadakat Projesi” ve “Proaktif Limit Artırım Projesi” baz alınmıştır. Belirlenen karmaşıklık faktörlerini kıyaslaması için iki farklı uzmanın görüşüne başvurulmuştur. Uzmanlardan biri, bahsedilen her iki projede de aktif görev almış ‘İş Geliştirme Yetkili Uzmanı’ unvanına sahip bir iş analisti, diğeri ise her iki projenin proje yöneticiliğini yapmış, süreçleri yakından takip eden bir ‘Proje Yöneticisi’dir. Belirlenen her karmaşıklık faktörü için uzman görüşü alınmadan önce; çalışmanın amacı, proje karmaşıklığının neden ölçümlendiği, ölçümün nasıl

yapılacağı, karmaşıklığın tanımı, boyutları, alt boyutları ve her bir alt boyutun ilişkilendirildiği kavramlara ilişkin örnekler paylaşılmış ve uzmanlardan beklentinin ne olduğu açıklanmıştır. Bu yöntemle, ilgili kriterlerin karmaşıklık seviyesinin uzmanlar tarafından kolaylıkla tahmin edilebilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Süreç; şirket içinde yer alan bir dinlenme alanında, karşılaştırılacak faktörler bilgisayardan uzmanlara gösterilerek ve gerekli yerlerde ek açıklamalar yapılarak, 90’ar dakika süren iki farklı oturumda gerçekleştirilmiştir. Her oturum iki uzmanla aynı anda gerçekleştirilmiş ve uzmanlardan fikir birliğine varmaları beklenmiştir. Birinci oturum proje karmaşıklığı açısından tüm boyutların ve alt boyutların değerlendirilmesi ve tüm boyutlar ve alt boyutlar açısından birinci ve ikinci projenin karşılaştırılması ile ilgili soruları kapsamaktadır. Örnek bazı sorular şu şekildedir:

- “Proje Karmaşıklığı” açısından “Operasyonel” mi yoksa “Yönetsel” faktörler mi daha fazla etkilidir, ne kadar?
- “Proje Karmaşıklığı” açısından “Operasyonel İlişkiler ve Etkileşim” mi yoksa “Operasyonel Yenilik, Değişkenlik ve Belirsizlik” mi daha fazla etkilidir, ne kadar?
- “Operasyonel İlişkiler ve Etkileşim” açısından “Proje-1” mi yoksa “Proje-2” mi daha karmaşıktır, ne kadar?

İkinci oturumda ise her bir faktör altında bulunan alt boyutlardan ilişkili olanların (geri besleme) karşılaştırması ve her bir alt boyutun ilişkili olduğu diğer alt boyutlar ile karşılaştırması yapılmıştır. Örnek bazı sorular şu şekildedir:

- Projelerde “Operasyonel Çeşitlilik ve Büyüklük”e etkisi bakımından “Yönetsel Çeşitlilik ve Büyüklük” mü yoksa “Yönetsel İlişkiler ve Etkileşim” mi daha önemlidir, ne kadar?
- Projelerde “Operasyonel Çeşitlilik ve Büyüklük”e etkisi bakımından Operasyonel İlişkiler ve Etkileşim” mi yoksa “Operasyonel Yenilik, Değişkenlik ve Belirsizlik” mi daha önemlidir, ne kadar?

Yöntem, literatüre dayanılarak belirlenen karmaşıklık faktörleri değerlendirilirken, uzmanlar tarafından herhangi bir faktöre itiraz edilebilir ya da yeni bir faktör için öneride bulunulabilir olması sebebiyle güven sağlamaktadır. Ancak veri toplama süreci boyunca bu konuda herhangi bir talep gelmemiştir.

3.2.2. Veri Analizi

Oluşturulan çerçevede yer alan temel boyutlar, alt boyutlar ve kurulan ilişkilere göre ikili karşılaştırmalar yapılarak toplanan veri, projeleri karmaşıklaştıran faktörlerin kıyaslanması ve karmaşıklık seviyelerinin belirlenmesi için “Super Decisions Software” adlı program kullanılarak değerlendirilmiştir [37]. Bu kapsamda “Proje karmaşıklığının ölçülmesi”

şeklinde konumlanan hedef, karmaşıklığa sebep olduğu düşünülen boyutlar, bu boyutlara ait alt boyutlar ve alternatifler programa girilmiştir. Her grupta ifade edilen boyut ve alt boyutlar için uygulama sırasında kullanılmak üzere açıklama bölümleri de programa eklenmiştir. Oluşturulan modelin ekran görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir.

Kurulan modelde amacın tüm alt boyutlardan etkilendiği kabul edildiğinden, amaç ile tüm alt boyutlar ilişkilendirilmiştir. Karmaşıklık bakımından kıyaslanması hedeflenen iki proje de tüm alt boyutlar açısından kıyaslanacaktır; dolayısıyla, alt boyutların tamamı alternatif iki proje ile ilişkilendirilmiştir. Son olarak, her alt boyutu etkileyeceği düşünülen diğer alt boyutlar, literatür araştırması sonucu edinilen bilgi ve tecrübelerle dayalı olarak belirlenmiştir.

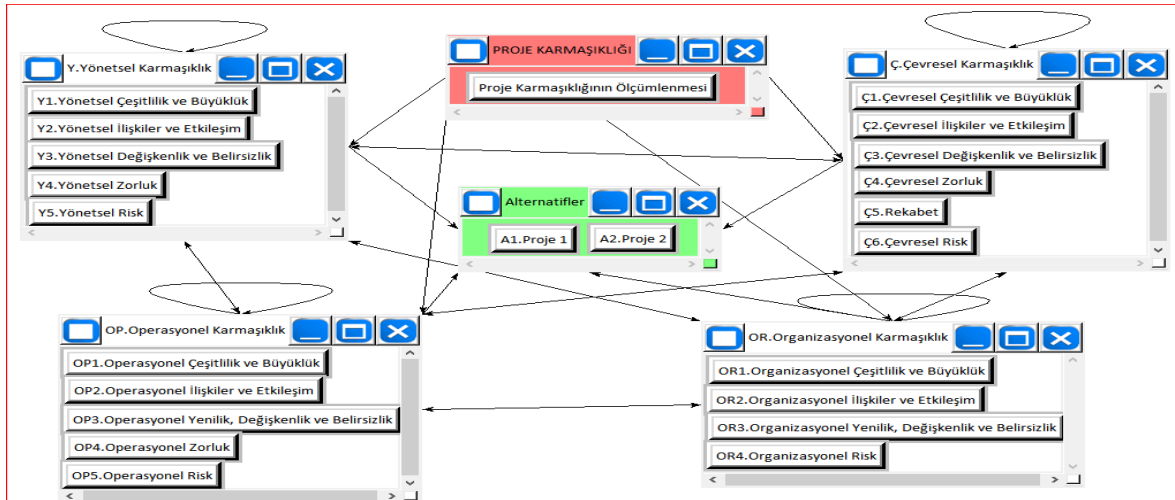
Faktörler ve ilişkilerin tanımlanması sonucu oluşturulan nihai modele göre, 1 ile 9 puan aralığında (1 puan, karşılaştırılan iki elemanın üst düzey kritere göre eşit öneme sahip olması, 9 puan, karşılaştırılan iki elemandan birinin diğerine göre aşırı öneme sahip olması) yapılan kıyaslamalar ile toplanan veriler programa girilmiştir. Her bir karşılaştırma için programda ilgili karşılaştırma matrislerine girilen cevaplara ilişkin tutarsızlık değerleri, kabul edilebilir eşik değer olan %10 değerinin altında çıkmıştır.

3.2.3. Bulgular ve Değerlendirme

Programın çalıştırılması ile elde edilmiş sonuçlar Tablo 3'te özetlenmiştir. Tabloda karmaşıklığı oluşturan her bir alt boyutun, içinde bulunduğu temel boyut (küme) içerisindeki önem değerleri ve global önem değerleri görülmektedir. 'Operasyonel karmaşıklık' kümesindeki en önemli alt boyut %30,44'lük önem değeri ile 'operasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik' olarak belirlenmiştir. Bu boyut operasyonel işin detaylarına yönelik belirsizlikleri, kalite, zaman gibi operasyonel hedefler ve yöntem/süreçlere ilişkin belirsizlikleri; ayrıca projedeki yeni/tanınmayan öğeleri ifade etmektedir. 'Yönetsel karmaşıklık'

kümesindeki en önemli alt boyut %31,16'lük önem değeri ile 'yönetsel risk'tir. Yönetsel riskler gerçekleşmesi durumunda projenin devam etmesini aksatacak, çalışanlarla ilgili riskleri ifade etmektedir. 'Organizasyonel karmaşıklık' kümesindeki en önemli alt boyut %38,57'lik önem değeri ile 'organizasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik' olarak belirlenmiştir. Organizasyonel belirsizlik vizyon, misyon ve organizasyonel yapının yanı sıra performans göstergeleri, süreçler ve standartlardaki belirsizlikleri ifade etmektedir. Organizasyonel değişkenlik organizasyon genelinde kullanılan teknolojilerin, finansal kaynakların, vs. süreç içindeki değişimini ifade etmektedir. Yeni organizasyonel yapı da bu boyut altında ele alınmaktadır. 'Çevresel karmaşıklık' kümesindeki en önemli alt boyut ise %22,03'lük önem değeri ile 'çevresel risk' olarak saptanmıştır. Çevresel riskler gerçekleşmesi durumunda projenin devam etmesini aksatacak olan paydaşlarla ilgili, dışsal kaynaklarla ilgili ve genel çevrede meydana gelebilecek riskleri ifade etmektedir.

Tüm boyutlar için belirlenen global önem seviyelerine bakıldığında %6,0 ile 'çevresel risk' en önemli; %5,9 ile 'organizasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik' ikinci en önemli ve %5,3 ile 'çevresel çeşitlilik ve büyüklük' üçüncü en önemli alt boyut olarak ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre, alt boyutlara odaklanan bir proje yöneticisi, projenin doğasında var olan veya işleyişi sırasında oluşabilecek karmaşıklığı yönetmek için çevresel risklere yönelik risk yönetim metodolojilerinden faydalanarak bir strateji oluşturmalı ve çevresel riskleri ortadan kaldırmaya ya da risklerin olasılık ve etkilerini azaltmaya odaklanmalıdır. 'Organizasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik' boyutu ve paydaşların ve projenin görev çevresinde yer alan dış bağımlılıkların (kaynaklar, teknolojiler, vb.) sayısı ve çeşitliliği ile genel çevrede var olan çeşitliliği ifade eden 'çevresel çeşitlilik ve büyüklük' boyutu da proje yönetim stratejileri belirlenirken karmaşıklık ile başa çıkmayı sağlayacak adımların planlanması için öncelikli olarak düşünülmesi gereken faktörlerdendir.



Şekil 5. Proje karmaşıklık ölçüm modeli ekran görüntüsü

Global önem seviyelerine bakıldığında sırasıyla 'çevresel değişkenlik ve belirsizlik', 'organizasyonel risk', 'operasyonel yenilik, değişkenlik ve belirsizlik', 'çevresel ilişkiler ve etkileşim', 'operasyonel çeşitlilik ve büyüklük', 'organizasyonel ilişkiler ve etkileşim', 'yönetimsel çeşitlilik ve büyüklük' takip eden diğer en önemli alt boyutlar olarak dikkat çekmektedir. Operasyonel karmaşıklık boyutu ve bu boyuta ait alt boyutlar projede direkt olarak yapılan işlemlerle ilgili; yönetimsel karmaşıklık boyutu ve bu boyuta ait alt boyutlar ise projede direkt olarak çalışan kişilerle ilgili değerlendirilmektedir. Organizasyonel yenilik, değişkenlik, belirsizlik ve riskler projenin gerçekleştiği organizasyonun yapısı ile ilgili faktörlerle; çevresel çeşitlilik, büyüklük, ilişkiler, etkileşim, değişkenlik, belirsizlik ve riskler ise projenin etkileşim içinde olduğu görev çevresi ve projenin gerçekleştiği organizasyonun içinde bulunduğu genel çevre ile ilişkilidir.

Her bir temel boyutun proje karmaşıklığına etkileri ise Tablo 4'te özetlenmiştir. Tablo 4'te verilen önem değerlerine göre karmaşıklığı etkileyen en önemli faktör %57,88'lik önem değeri ile 'yönetimsel karmaşıklık' olurken, bunu %28,88'lik önem değeri ile 'çevresel karmaşıklık' izlemektedir. Belirlenen boyutlardan karmaşıklığa göreceli olarak en az etki eden boyut ise %3,98 önem değerine sahip olan 'organizasyonel boyut' olarak saptanmıştır. Dolayısıyla bir projeyi karmaşıklaştıran en önemli

faktörlerin projenin insan boyutu ile ilgili faktörler olduğu söylenebilir. Projede çalışan bireylerin sayısı ve dil, kültür, beklenti, ilgili alanı, vb. çeşitliliği; projedeki uzmanlıklar ve dahil olan disiplinler; zayıf tanımlanmış, gerektirdiği uzmanlık seviyesi belirsiz olan rollerin varlığından kaynaklanan belirsizlikler; bireylerin takvimleri, planlamaları ve görevleri arasındaki bağımlılık ve etkileşimler; takım üyelerinin değişmesi, uzmanlık ihtiyaçlarındaki değişimler, vb. değişkenlikler bu kapsamda yönetilmesi gereken başlıca konulardır. Çevresel karmaşıklık ise paydaşların ve dış bağımlılıkların sayısı, çeşitliliği; paydaşlar arası iletişim ve bilgi paylaşımı ve organizasyon dışı teknolojik, yasal, sosyal ve çevresel olayların projeye etkilerini ifade eder. Aniden ortaya çıkan yeni teknolojilerden hava koşullarına, rakiplerin davranışlarına kadar çevrede gerçekleşen birçok durumun projeye etkisi olabilir. Dolayısıyla, çevresel faktörlerin de karmaşıklık yönetiminde ön planda olması gerekmektedir. Proje karmaşıklığına en az etki eden boyut olarak belirlenen 'organizasyonel boyut' ise dikey ve yatay organizasyonel yapı, organizasyon içindeki bağımlılıklar, iletişim ve ilişki düzeyi, vizyon ve misyon, standartlar, süreçler ve bunlardan kaynaklanan değişkenlik ve belirsizlikleri kapsamaktadır. 'Organizasyonel boyut', proje karmaşıklığı konusunda en az etkiye sahip görünse de başarılı bir proje yönetimi için yine de dikkate alınması gerekmektedir.

Tablo 3. Proje karmaşıklık alt boyutlarının önem değerleri

Karmaşıklık Boyutları	Alt Boyutlar	Boyutlar Bazında Önem Değerleri (%)*	Global Önem Değerleri (%)
Operasyonel Karmaşıklık	Operasyonel Çeşitlilik ve Büyüklük	28,47	4,4
	Operasyonel İlişkiler ve Etkileşim	10,29	1,6
	Operasyonel Yenilik, Değişkenlik ve Belirsizlik**	30,44**	4,7
	Operasyonel Zorluk	14,16	2,2
	Operasyonel Risk	16,64	2,5
Yönetimsel Karmaşıklık	Yönetimsel Çeşitlilik ve Büyüklük	13,49	4,2
	Yönetimsel İlişkiler ve Etkileşim	7,04	2,7
	Yönetimsel Yenilik, Değişkenlik ve Belirsizlik	28,15	5,9***
	Yönetimsel Zorluk	20,17	2,5
	Yönetimsel Risk**	31,16**	2,1
Organizasyonel Karmaşıklık	Organizasyonel Çeşitlilik ve Büyüklük	27,46	1,1
	Organizasyonel İlişkiler ve Etkileşim	17,52	4,3
	Organizasyonel Yenilik, Değişkenlik ve Belirsizlik**	38,57**	3,1
	Organizasyonel Risk	16,46	4,8
Çevresel Karmaşıklık	Çevresel Çeşitlilik ve Büyüklük	19,44	5,3***
	Çevresel İlişkiler ve Etkileşim	17,18	4,6
	Çevresel Değişkenlik ve Belirsizlik	18,06	4,9
	Çevresel Zorluk	10,28	2,8
	Rekabet	13,02	3,5
	Çevresel Risk**	22,03**	6,0***

* : İlgili karmaşıklık boyutu (küme) içerisinde normalize edilmiş önem değerleri

** : İlgili karmaşıklık boyutu ile ilişkili önem değeri en yüksek alt boyutlar

*** : Tüm karmaşıklık alt boyutları birlikte değerlendirildiğinde önem değeri en yüksek alt boyutlar

Tablo 4. Proje karmaşıklık boyutlarının önem değerleri

Karmaşıklık Boyutları	Önem Değerleri (%)
Operasyonel Karmaşıklık	9,26
Yönetimsel Karmaşıklık	57,88*
Organizasyonel Karmaşıklık	3,98
Çevresel Karmaşıklık	28,88

* : Önem değeri en yüksek karmaşıklık boyutu

Çalışma kapsamında proje karmaşıklığının ölçülmesine yönelik oluşturulan çerçevede yer alan tüm faktörler ve alt faktörlerin, uygulamada kullanılmak üzere belirlenen projelere göre değerlendirilmesi sonucunda Tablo 5'te görüldüğü gibi "Müşteri Sadakat Projesi"nin (Proje 1) "Proaktif Limit Artırım Projesi"nden (Proje 2) daha karmaşık olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 5. Alternatif projelerin karmaşıklık seviyeleri

Alternatif Projeler	Karmaşıklık Seviyeleri (%)
Müşteri Sadakat Projesi (Proje 1)	56,46
Proaktif Limit Artırım Projesi (Proje 2)	43,54

Belirlenen iki farklı dijital bankacılık projesinin karmaşıklığının ölçülmesinde kullanılan çerçeve, sektör ve proje tipinden bağımsız, herhangi iki veya daha fazla projenin karmaşıklık açısından karşılaştırılması için rahatlıkla kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar, projelerin sadece karmaşıklıkları bakımından değerlendirilmesi ile yapılmış bir önceliklendirme ortaya koymaktadır. Proje seçiminde karmaşıklık, dikkate alınması gereken faktörlerden sadece birisidir. Bu bakımdan seçim ile ilgili karar vermeden önce maliyet ve getiri hesabının yanında karmaşıklık dışındaki proje başarısını etkileyen diğer tüm faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Gerçekleştirilen bu uygulama, alternatif projeler arasından seçim yapmak için ihtiyaç duyulan bilgiyi (karmaşıklık düzeyleri ile ilgili) sağlamasının yanı sıra, çalışmanın amacı doğrultusunda proje karmaşıklığı değerlendirilirken kullanılacak karmaşıklık faktörlerinin önem değerlerini de ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, projelerde karmaşıklık yönetimi için ağırlık verilmesi gereken boyutların ne olduğunu göstererek uygun yönetim stratejisi ile daha etkin bir biçimde yönetilmesine olanak tanıyacak ve proje başarısının artmasına katkı sağlayacaktır.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Proje karmaşıklığı, proje hedeflerine ulaşılmasını zorlaştırdığından, proje yönetimi için kritik bir faktörlerden bir tanesidir. Karmaşıklığı anlamak, hem akademik çalışmalar, hem de pratikte projelerin karmaşıklığını yönetmek durumunda olan proje yöneticileri için büyük bir öneme sahiptir. Karmaşıklığı analiz etmek için araçlara sahip olmak, karmaşıklığın daha iyi anlaşılmasını sağlayacak ve proje

yöneticilerini karmaşıklığın nasıl yönetileceğine dair güzel bir başlangıç noktasına getirecektir. Bu tür bir araç proje yöneticilerine projenin durumunu formüle etme, stratejik seçimler yapma, yönetim sürecini seçme ve uygulama süresince kararlar alma konusunda yardımcı olacaktır. Tüm bunlar, yönetsel kapasitenin çok daha etkili kullanılmasını sağlayacak ve yönetsel yetkinliklerin de gelişmesine katkıda bulunacaktır.

Proje karmaşıklığı farklı göstergeler kullanılarak ölçümlenebilmektedir. Yapılan çalışmalarda kullanılan istatistiksel analizler en önemli ve proje karmaşıklığını en iyi yansıtan faktörleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Başka bir deyişle, daha az karmaşık projeler ile daha karmaşık projeler arasında istatistiksel olarak fark yaratan göstergeler, proje karmaşıklığını tanımlamada etkili olan faktörleri anlamaya yardımcı olmaktadır.

Algılanan karmaşıklıkta geçmiş deneyimler önemli bir role sahip olduğundan, bir projenin karmaşıklığını değerlendirmenin doğasında sübjektiflik bulunmaktadır [13]. Yetkinlik ve deneyimlerdeki farklılıklar sebebiyle, insanların bir projeyi aynı çerçeveyi kullanarak değerlendirdiği durumlarda bile karmaşıklığa ilişkin farklı sonuçlar çıkabilmektedir. Bu sebeple proje karmaşıklığına dair oluşturulan çerçevelerde aslında temel amaç proje karmaşıklığını daha iyi anlamak ve proje karmaşıklığına ilişkin bir iz bulabilmektir. Karmaşıklık alanlarının bilinmesi, bu alanların yönetimi sırasında daha dikkatli olunmasını sağlayacaktır.

Projenin erken aşamalarında karmaşıklığın ölçülmesi projenin daha iyi anlaşılmasını sağlar ve bu sayede projelerin başarılı bir şekilde yönetilmesine ve karmaşıklığın yaratacağı risklerin azaltılmasına olanak tanır. Bir projenin başlangıç aşamasında yapılan değerlendirmeler, projenin beklenen karmaşıklığının belirlenmesi ve özel tedbirlerin alınmasını sağlayabilir. Örneğin teknik karmaşıklığının yüksek olduğu belirlenen bir proje, çevresel karmaşıklığı yüksek olan bir projeye göre farklı özelliklere sahip bir proje yöneticisi gerektirebilir. Remington ve Pollack (2016) çok fazla sayıda karmaşık projenin, söz konusu projeler kontrol altında tutulamayacak ve yardım edilemeyecek noktaya gelene kadar karmaşık oldukları belirlenmediği için başarısız olduğunu belirtmiştir [15]. Öte yandan, sadece başlangıç aşamasında proje karmaşıklığının ölçülmesi de yetersiz kalabilir. Proje karmaşıklığı proje yaşam döngüsü boyunca değiştiğinden, proje karmaşıklığının dinamikliğini anlamak için, oluşturulan çerçevenin projenin çeşitli aşamalarında tekrar tekrar düşünülmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Karmaşıklığın ölçülmesi stratejik seçimler, süreç seçimleri, geliştirme, kaynak ayırma, iş vakaları, yönetsel kapasite ve yetkinliklerin değerlendirilmesi gibi proje yönetimi ile ilişkili birçok konuda önemli derecede destek sağlayabilir. Proje karmaşıklığının

ölçülenmesi sadece proje yönetimine destek vermekle kalmayıp herhangi bir organizasyonun portföyünde yer alan bir projenin seçilmesi veya projelerin önceliklendirilmesi ya da projelerde var olan veya doğabilecek çeşitli problemlerin tanımlanması için de kullanılabilir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen proje karmaşıklığı ölçüm modeli ile dijital bankacılık projelerinde proje karmaşıklığının ölçülmesine yönelik bir uygulama yapılmış ve uygulama sonucunda dijital bankacılık projelerinde karmaşıklık yaratan en önemli faktörler yönetsel ve çevresel faktörler olarak saptanmıştır. Yönetsel faktörler, projenin insan ile ilgili boyutundan beslenmektedir. Dolayısıyla, proje ekibindeki kişilerin sayısı, uzmanlıkları, farklılıkları, iletişimi ve ilişkilerinden; zayıf tanımlanmış rollere, uzmanlık ihtiyaçlarındaki değişime kadar geniş bir çerçevede değerlendirilebilecek faktörlerin projeleri karmaşıktırma etkisi büyüktür. Çevresel karmaşıklık ise projenin ilişkili olduğu görev çevresi ve genel çevredeki faktörleri kapsar. Projenin paydaşları, tedarikçileri, müşterileri ve partnerleri ile ilgili faktörler, projenin dış bağımlılıkları ile ilgili belirsizlik ve riskler ve projenin genel çevresinde meydana gelmiş ancak projeye etki edebilecek yenilik ve değişiklikler proje karmaşıklık yönetimi sürecinde mutlaka dikkate alınması gereken konulardır. Bununla birlikte, literatürde yer alan hemen hemen tüm modeller gibi bu çalışma ile ortaya konan modelin de sektörden bağımsız olarak her tip projenin karmaşıklığının ölçülmesinde kullanılması uygundur. Literatürde yapılan çalışmalarda herhangi bir faktörün daha az karmaşık olduğunu söyleyen bireylerin, o faktörü yaratan duruma benzer bir durumla daha önce karşılaştığı ve ilgili durumu nasıl tasarlayacağını bildiği vakalara rastlanmıştır; hatta bu durumun diğer uzmanlara aktarılmasının, diğerlerinin de fikirlerini değiştirmelerine neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, karmaşık projelerin daha verimli yönetilmesinde iletişimin önemini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamada toplanan veri de uzman görüşlerine bağlı subjektif veri olduğundan, yakın sonuçlar beklenmekle birlikte, farklı uygulayıcılarla yapılan çalışmaların farklı sonuç vermesi normal karşılanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] PMI Standards Committee. (2004). A Guide to the project management body of knowledge: (PMBOK Guide). Upper Darby, Pennsylvania, Project Management Institute.

[2] Lu, Y., Luo, L., Wang, H., Le, Y., & Shi, Q. (2015). Measurement model of project complexity for large-scale projects from task and organization perspective. *International Journal of Project Management*, 33(3), 610-622.

[3] Wood, H., & Ashton, P. (2015). The factors of project complexity. University of Brighton: Retrieved from <http://eprints.brighton.ac.uk/id/eprint/14062>.

[4] Dao, B., Kermanshachi, S., Shane, J., Anderson, S., & Hare, E. (2016b). Identifying and measuring project complexity. *Procedia Engineering*, 145, 476-482.

[5] Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity - A review. *International Journal of Project Management*, 14(4), 201-204.

[6] Geraldi, J. & Adlbrecht, G. (2007). On faith, fact and interaction in projects. *Project Management Journal*, 38(1), 32-43.

[7] Vidal, L. A., Marle, F., & Bacquet, J. (2011). Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Project Management*, 29(6), 718-727.

[8] Cicmil, S., Cooke-Davis, T., Crawford, L., & Richardson, K. (2009). Exploring the complexity of projects: Implications of complexity theory for project management practice. Newtown Square: Project Management Institute.

[9] Gidado, K. (1996). Project complexity: The focal point of construction production planning. *Construction Management and Economics* 14(3), 213-225.

[10] Williams, T. (1999). The need for new paradigms for complex projects. *International Journal of Project Management*, 17(5), 269-273.

[11] Lucas, C. (2006). Quantifying Complexity Theory. Retrieved from <http://www.calresco.org/lucas/quantify.htm>.

[12] Brockmann, C., & Girmscheid, G. (2007). The inherent complexity of large scale engineering projects. *Project Perspectives*, 29, 22-26.

[13] Bosch-Rekvelde, M., Jomgkind, Y., Mooi, A., Bakker, H., & Vercraeck, A. (2011). Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. *International Journal of Project Management*, 29(6), 728-739.

[14] Xia, B., & Chan, A. P. (2012). Measuring complexity for building projects: A Delphi study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(1), 7-24.

[15] Remington, K., & Pollack, J. (2016). Tools for complex projects. London: Routledge.

[16] Dao, B., Kermanshachi, S., Shane, J., Anderson, S., & Hare, E. (2017). Exploring and Assessing Project Complexity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(5), 04016126-1,04016126-10.

[17] Qureshi, S.M., & Kang, C.W. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management*, 33(1), 165-176.

[18] Maylor, H., Vidgen, R., & Carver, S. (2008). Managerial complexity in project-based operations: A grounded model and its implications for practice. *Project Management Journal*, 39 (1_suppl), S15-S26.

[19] Dao, B., Kermanshachi, S., Shane, J., & Anderson, S. (2016a). Project complexity assessment and management tool. *Procedia Engineering*, 145, 491-496.

[20] Vidal, L. A., & Marle, F. (2008). Understanding project complexity: Implications on project

management. *Kybernetes*, 37(8), 1094-1110.

[21] Zhu, J., & Mostafavi, A. (2017). Discovering complexity and emergent properties in project systems: A new approach to understanding project performance. *International Journal of Project Management*, 35(1), 1-12.

[22] GAPPS. (2007). *A Framework for Performance Based Competency Standards for Global Level 1 and 2 Project Managers*. Sydney: Global Alliance for Project Performance Standards

[23] Geraldi, J., Maylor, H., & Williams, T. (2011). Now, let's make it really complex (complicated): A systematic review of the complexities of projects. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(9), 966-990.

[24] Williams, T. (2005). Assessing and moving from the dominant project management discourse in the light of project overruns. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 52(4), 497-508.

[25] Maylor, H., & Turner, N. (2017). Understand, reduce, respond: project complexity management theory and practice. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(8), 1076-1093.

[26] Choudary, K. S. A., Rao, U. V. A., & Kumar, M. A. (2019). Assessment of Project Complexity: ERP System in Large Scale Process Enterprises. *Advance and Innovative Research*, 6(2), 49.

[27] Dao, B., Kermanshachi, S., Shane, J., Anderson, S., & Hare, E. (2017). Exploring and assessing project complexity. *Journal of construction engineering and management*, 143(5), 4016126.

[28] Kermanshachi, S., Dao, B., Rouhanizadeh, B., Shane, J., & Anderson, S. (2020). Development of the project complexity assessment and management framework for heavy industrial projects. *International Journal of Construction Education and Research*, 16(1), 24-42.

[29] Kermanshachi, S., Rouhanizadeh, B., & Dao, B. (2020). Application of Delphi Method in Identifying, Ranking, and Weighting Project Complexity Indicators for Construction Projects. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 12(1), 4519033.

[30] Luo, L., Zhang, L., & Wu, G. (2020). Bayesian belief network-based project complexity measurement considering causal relationships. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(2), 200-215.

[31] Ma, L., & Fu, H. (2020). Exploring the influence of project complexity on the mega construction project success: a qualitative comparative analysis (QCA) method. *Engineering, Construction and Architectural Management*, EarlyCite, 1-21.

[32] Lebcir, R., & Choudrie, J. (2011). Impact of project complexity factors on project cycle time: A system dynamics modelling approach. In *proceedings of 2nd International Conference on Construction and Project Management*, September, 16-18, Singapore, 166-170.

[33] Topçu, Y.İ. (2019). Analitik hiyerarşi ve ağ süreci. Retrieved from www.ilkertopcu.net

[34] Saaty, T.L. (1990). How to Make a Decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.

[35] Saaty, T.L. (2001). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process - The organization and prioritization of complexity*. New York: RWS Pub.

[36] Asan, U., & Soyer, A. (2009). Identifying strategic management concepts: An analytic network process approach. *Computers & Industrial Engineering*, 56(2), 600-615.

[37] Super Decisions [Computer Software]. (2019). Retrieved from <https://www.superdecisions.com>.

Comparative Anatomical Features Study of the Some Medicinal *Rumex* Species Distributed in Turkey

Türkiye'de Yayılış Gösteren Bazı Tıbbi Rumex Türlerinin Anatomik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi

Sibel ULCAY¹ 

¹Ahi Evran University Agriculture, Department of Field Crops, Department of Medicinal and Aromatic Plants, Bagbasi/ Kirsehir

Abstract

Distributed in Turkey *Rumex crispus* L., *Rumex patientia* L., anatomical features of *Rumex obtusifolius* species were comparatively investigated in this study. For anatomical studies, cross-sections were taken from root, stem and leaf. In addition, superficial sections were taken from the leaf and stomata index and stomata features were determined. Druse crystals were found at the root of the *R. obtusifolius*. The radial-shaped vascular bundles in the root of *R. crispus* had 4-5 arms. Glandular hair was found only in the stem of *R. obtusifolius*. It is also characteristic that vascular bundles were scattered in the stem of this species. There was cuticle in the stem of *R. crispus*. Stem corner numbers of taxa also differed in terms of species. *R. crispus* was 10, *R. obtusifolius* was 8, *R. patientia* was 14 cornered. The number and type of collenchyma layer in the stem of the species were also different. Outward bulge was detected in the mid vein region in leaf cross-sections of taxa. This bulge was less pronounced in *R. crispus* and the most prominent in *R. obtusifolius*. At least the number of stomata was observed on the *R. obtusifolius* leaf. Leaf epidermis cell walls were wavy in *R. patientia*. A large number of druse crystals had been identified in the leaves of all species.

Keywords: *Rumex crispus*, *Rumex patientia*, *Rumex obtusifolius*, Anatomy, Medicinal plants.

Öz

Bu çalışmada, Türkiye'de yayılış gösteren *Rumex* cinsine ait *R. crispus* L., *R. patientia* L., *R. obtusifolius* L. türlerinin anatomik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Anatomik çalışmalar için kök, gövde ve yaprakтан enine kesitler alınmıştır. Ayrıca yaprakтан yüzeysel kesitler alınarak stoma indeksi ve stoma özellikleri belirlenmiştir. *R. obtusifolius* kökünde druz kristallere rastlanmıştır. *R. crispus* kökünde 4-5 kollu demetler radyal şekilde dizilmiştir. Sadece *R. obtusifolius* gövdesinde glandular örtü tüyüne rastlanmıştır. *R. crispus* gövdesinde kutikula mevcuttur. Taksonların gövde köşe sayıları da türler açısından farklılık göstermektedir. *R. crispus* 10, *R. obtusifolius* 8, *R. patientia* 14 köşelidir. Türlerin gövdelerindeki kollenkima tabaka sayıları ve tipleri de birbirinden farklıdır. Taksonların yaprak enine kesitlerinde orta damar bölgesinde dışarıya doğru çıkıntı tespit edilmiştir. Bu çıkıntı *R. crispus* 'ta az belirgin, *R. obtusifolius* 'ta ise çok belirgindir. Yaprak yüzeylerindeki stoma sayısı en az *R. obtusifolius* türünde gözlenmiştir. *R. patientia* türünde yaprak epidermis hücre çeperleri dalgalıdır. Tüm türlerin yapraklarında çok sayıda druz kristali belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Rumex crispus*, *Rumex patientia*, *Rumex obtusifolius*, Anatomi, Tıbbi Bitkiler.

I. INTRODUCTION

Polygonaceae, which has 32 genera and around 800 species in the world, was generally distributed in the Northern Hemisphere [1]. *Rumex* (Polygonaceae) genus, which is the only or perennial herbaceous plants that bloom in May-September, had about 200 species on earth, and 25 species and 7 hybrids were common in Turkey, 6 of which were endemic [2,3]. *Rumex* species contain anthropoids, tannins, flavonoids, naphthalene derivatives, leucoanthocyanidol, steroidal compounds, fixed oils and essential oils, saponosides and polysaccharides [3]. Some species had been found to be effective against fungi and bacteria. In addition, some species were found to show anti-inflammatory effect. Antitumoral, cardiovascular, antihistaminic, hematological and laxative activities were mentioned according to the substance groups they contain [4, 5]. It was also stated that some species of the genus show antioxidant and antimicrobial activity [6, 7]. Members of the family were used in folk medicine. *R. crispus* L. was useful in diseases such as skin, respiratory, digestive hemorrhoids, edema, excretion, sugar, rheumatism, diarrhea, pile, lung bleeding [8]. *R. patientia* L. was used as immunosuppressant and in the treatment of tonsillitis and *R. obtusifolius* in the treatment of hemorrhoids. *R. obtusifolius* L. seeds had been shown to be effective in the treatment of hyperglycemia by Aghajanyan et al. [9]. *Rumex* species were also important ethnobotanically. usually, leaves of *Rumex* species were consumed raw in salads, while stems, branches, and leaves were consumed by cooking [8,10,11].

Corresponding Author: Sibel ULCAY, Tel: (0386) 280 48 00, e-mail: sibelulcay@gmail.com

Submitted: 03.03.2020, **Revised:** 09.06.2020, **Accepted:** 08.08.2020

Despite being affected by ecological conditions, many anatomical characters helped to solve systematic problems. [12,13]. Therefore, taxonomists had explored anatomical characters that could support the diagnosis of species. Stems, and especially leaves, were some of the few anatomical characters that had proven important in classification [14, 15]. Carlquist studied the wood anatomy of the Polygonaceae family. Carlquist reported that some species belonging to the family possess features such as contain nonbordered perforation plates, the existence of vested pith on the vessel, the existence of silica bodies [16]. Micco and Aronne, in a study related to *Rumex scutatus*, determined that the plants on steep slopes roots develop asymmetrically, the lateral roots act like connecting rods. They also found that in roots growing on flat ground, lignified xylem was surrounded by non-lignified parenchyma cells filled with starch [17]. Ghazalah et al. investigated foliar anatomy of some *Rumex* species. They reported that epidermal cells were generally polygonal in shape, and glandular and non-glandular trichomes showed variation [18]. Sahney and Vibhasa examined the body anatomy of *Rumex hastatus*. They reported that the stem epidermis of *R. hastatus* had sessile mucilage glands and druse crystals [19]. Soleimani et al. they revealed the anatomical and palynological characteristics of *Rumex* species [20]. Goremykina and Dinekina reported that the maximum vessel diameter in the stem of some species belonging to the Polygonaceae family supported kinship relations

between the species.

The aim of this study is to investigate the anatomical features of some medicinal species belonging to the genus *Rumex* and to provide a source for the research to be done with *Rumex* species. In addition, the study is thought to will be beneficial in the diagnosis of *Rumex* species.

II. MATERIALS AND METHODS

The samples of *Rumex crispus*, *R. patientia* and *R. obtusifolius*, which were selected as research subjects, were collected from various parts of Tokat in 2015-2016 (Table 1). Species were identified according to Flora of Turkey [22]. The sections from 15 plant samples were made into a permanent preparation according to the glycerin gelatin method [23]. The cell types obtained from the root, stem and leaf sections of the species were determined by using Upright Microscope Eclipse Ni-U imaging system and photographed. Cell measurements were made from transverse and superficial sections of taxa. Stoma and epidermis cell numbers per 1 mm² were found on the lower and upper surfaces of the leaves of the same age (Table 5) and the stoma index was calculated [24]. 25 measurements were taken from tissues such as epiderma, periderma, parenchyma, collenchyma, and sclerenchyma (Table2, Table 3, Table 4).

Table 1. General information about taxa.

Taxa	Locality and date of collection	Coordinates	Altitude (m)	Voucher
<i>R. crispus</i>	Pazar (Districts), Tatar Village	40°16'46"N,36°17'21"E; 40°16'20"N,36°14'38"E	572m, 555m	SULCAY344. 04.06.2015
<i>R. patientia</i>	Tokat-Ulaş Village	40°18'48"N,36°26'15"E;	645m	SULCAY337. 04.08.2016.
<i>R. obtusifolius</i>	Tokat-Kızılköy Village, Pazar (Districts)	40°16'54"N,36°17'33"E; 40°22'52"N,36°40'37"E	567,656m	SULCAY338. 04.08.2016

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Root Anatomical Features

Rumex crispus had thickened rhizome. Root epidermis cells were 1-2 layered, wavy-walled and polygonal. Radial bundles with 5-6 arms were found in the transverse sections of the roots taken from the rhizome. Endodermis cells were circular in shape. The cortex consisted of plenty of aerenchyma cells. These cells were polygonal shaped. The cortex was 9-10 layered (Figure 1-A).

R. obtusifolius had a secondary root. The root peridermis of *R. obtusifolius* had 3-4 layers and were

circular or quadratic shaped (Table 2). The cortex was narrow and there were many gaps between the parenchyma cells. Cambium was unclear, phloems were crushed (Figure 1-B).

R. patientia had rhizome. Cross-sections were taken from the lateral roots on the rhizome and were showed that the central cylinder was radially shaped. The peridermis cells had 3-4 layered and were square, rectangular or polygonal shaped. Cortex cells were polygonal or circular shaped (Figure 1-C). Druse crystals were observed in the cortex (Figure 1-D, Table 2) and cortex consisted of aerenchyma cells (Figure 1-C).

Table 2. Comparative root features in *Rumex* species studied

Properties of species	<i>R. crispus</i>	<i>R. obtusifolius</i>	<i>R. patientia</i>
Layer of epidermis	1-2 layered	-	-
Druse Crystal	Absent	Absent	Present
Layer of peridermis	-	3-4 layered	3-4 layered
Xylem arm count	5-6	-	-
Endodermis	Present	Absent	Absent
Phloem	Crushed	Clear	Crushed
Vascular Bundle Type	Primer -Radial	Secondary	Secondary

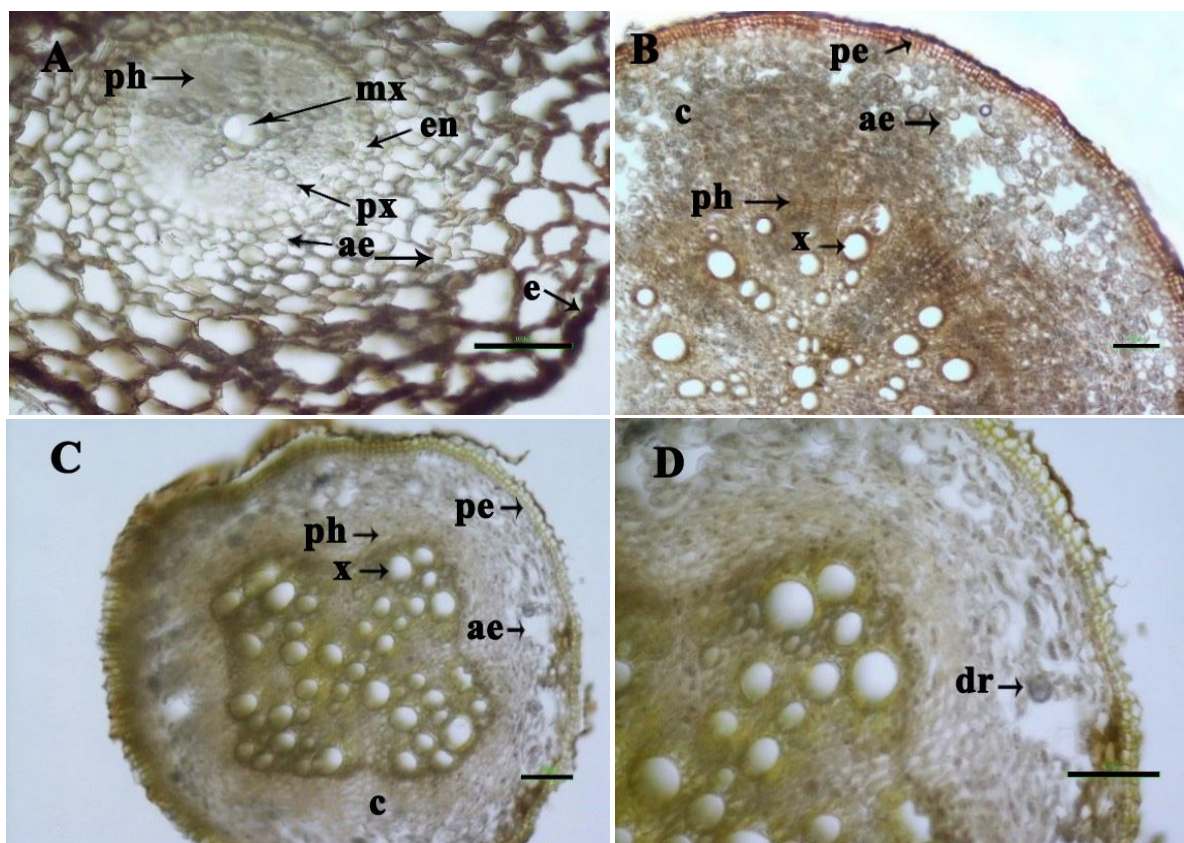


Figure 1. Transverse sections of root. A) *R. crispus*, B) *R. obtusifolius*, C-D) *R. patientia*. e: Epidermis, pe: Peridermis, mx: Metaxylem, px: Protoxylem, ae: Aerenchima, x: Xylem, ph: Phloem, dr: Druse crystal (scale bar 100 μm)

3.2. Stem Anatomical Features

The stem of the *R. crispus* plant had 10 cornered and contained collenchyma cells. The epidermis cells were circular shaped and had a thin cuticle. The vascular bundles were arranged in two rings. Sclerenchyma cells were around the bundles. The cortex was 3-4-layered and was narrowed. Druse crystals were observed in the pith region. Druse crystal number was 16-17. The parenchyma cells in pith were of different sizes and were circular in shape. The parenchyma cells of the pith were of different dimensions and were circular in shape. Vascular bundles were in form of collateral and bicollateral bundles. In addition, some vascular bundles were internal bundles. Collenchyma was a lacunar type.

Sclerenchyma on the vascular bundles was dome-shaped (Figure 2-E, Table 3).

The stem of *R. obtusifolius* was 8 cornered and irregular wave. The epidermis cells of *R. obtusifolius* were circular shaped. There were sparse trichomes on these cells. Angular collenchyma cells were present in the waves. Scattered vascular bundles appeared in the stem transverse sections of the taxon. Vascular bundles had bundle sheath. Druse crystals were scattered throughout the stem. Druse crystal number was 45-50. There is no specific pith region. Parenchyma cells were very different in size and had gaps between them. Vascular bundles were in form of collateral. Internal

bundle was not detected. Some vascular bundles were obcollateral. There is no sclerenchyma on vascular bundles (Figure 2-F, Table 3).

The stem of *R. patientia* was 14 cornered and regular wave. The stem was hairless. The stem epidermis cells of the *R. patientia* taxa were circular shaped. Vascular bundles continued in intervascular areas. Vascular bundles were in form of concentric and bicollateral bundles. In addition to these bundles, types of internal

bundles were seen. The cortex parenchyma cells were circular. Druse crystals were numerous in the cortex. The pith was very large and carried abundant druse crystals. Druse crystal number was 95-100. In the pith region, there were very prominent and numerous intercellular spaces. Collenchyma was a lamellar type (Figure 2-H). Sclerenchyma on the vascular bundles was flat or polygonal shaped (Figure 2-G, Table 3).

Table 3. Comparative stem features in *Rumex* species studied

Properties of species	<i>R. crispus</i>	<i>R. obtusifolius</i>	<i>R. patientia</i>
Rhizome	Present	Absent	Present
Sclerenchyma	Upper and lower of bundle	Absent	Upper and lower of bundle
Number of internal vascular bundles	Medium	Absent	Many
Number of corner of stem	10	8	14
Vascular Bundle Type	Collateral, Bicollateral	Collateral	Concentric, Bicollateral
Shape of stem	Regular	Irregular	Regular
Trichome on outer stem surface	Absent	Present	Absent
Cortex Parenchyma layers	3-4	No distinction	5-6
Druse crystals in pith	Few (16-17)	Medium (45-50)	Many (95-100)
Vascular bundle	Regular	Scattered	Irregular
Shape of sclerenchyma cap on phloem	Dome	Absent	Flat or polygonal
Collenchyma type	Lacunar	Angular	Lamellar
Cuticle	Present	Absent	Absent

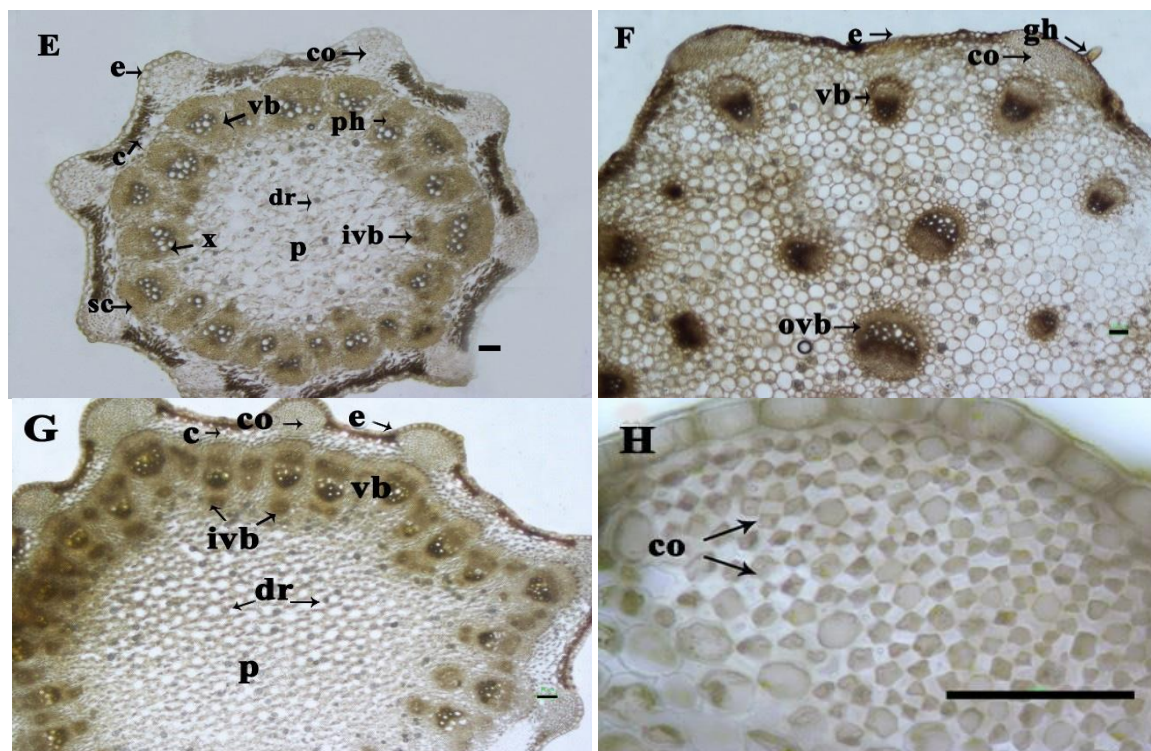


Figure 2. Transverse sections of stem. E) *R. crispus*, F) *R. obtusifolius*, G-H) *R. patientia*. e: Epidermis, p: Pith, x: Xylem, ph: Phloem, dr: Druse crystal, co: Collenchyma, c: Cortex, vb: Vascular bundle, ivb: Internal vascular bundle, ovb: Obcollateral vascular bundle, sc: Sclerenchyma, gh: Glandular hair (scale bar 100 μ m)

3.3. Leaf Anatomical Features

In the leaf transverse sections of *R. crispus*, upper and lower epidermis cells were polygonal shaped. Epidermis cell walls were flat. Cuticle layer was present on the epidermis. There was a slightly prominent bulge on the upper epidermis side of the middle vessel region. The number of vascular bundles in the middle vessel region was 3 and these vascular bundles were collateral. Collenchyma cells were 1-2 layered. Mesophyll consisted of 2-3 rows of palisade parenchyma and 2-3 rows of spongy parenchyma cells. Anisocytic stomata was observed on the lower and upper surfaces. The number of stomata per mm² was 126 in abaxial surface of *R. crispus* and the number of stomata per mm² was 102 in adaxial surface.

The leaf epidermis cells of *R. obtusifolius* had wavy walls. Epidermis cells were circular shaped. Also a thin cuticle was available on the epidermis. There was a very prominent bulge on the upper epidermis side of the middle vessel region. The number of vascular bundles in the middle vessel region was 4 and these bundles were collateral type. Collenchyma cells were 4-5 layered. Mesophyll consisted of 2-3 layered of palisade parenchyma and 5-6 layered of spongy parenchyma cells. Anomocytic stomata were seen on both the adaxial and abaxial surfaces. Leaf surface was not seen

hair. As in other species, druse crystals were observed in the leaf cross-section. The number of stomata per mm² was 78 in abaxial surface of *R. obtusifolius* and the number of stomata per mm² was 64 in adaxial surface.

In the *R. patientia* leaf cross-section, the epidermis cells were circular or rectangular shaped. The cell walls of both the upper and lower epidermis were wavy. Furthermore, cuticle was seen in the lower and upper epidermis. There was a bulge in the upper epidermis of the middle vessel region. This bulge was prominent. Collenchyma cells were located in this bulge and were 4-5 layered. Two small and two large vascular bundles were observed in the middle vessel region and vascular bundles were collateral and concentric type. One of these bundles was internal and another was obcollateral. Gaps occurred between parenchymal cells in this region. Druse crystals spread throughout the leaf. No hair on the leaf surface. Mesophyll consisted of 2 layered of palisade parenchyma and 2 layered of spongy parenchyma cells. The stomata on the abaxial surface (lower) were anomocytic. The stomata on the adaxial surface (upper) were anisocytic. The number of stomata per mm² was 136 in abaxial surface of *R. patientia* and the number of stomata per mm² was 87 in adaxial surface.

Table 4. Comparative leaf features in *Rumex* species studied

	<i>R. crispus</i>	<i>R. obtusifolius</i>	<i>R. patientia</i>
Bulge of the upper epidermis	Less prominent.	Very prominent.	Prominent
Cell wall of the epidermis	Flat	Flat	Wavy
Mesophyll type	Bifacial	Bifacial	Bifacial
Layer of palisade parenchyma	2-3	2-3	2
Layer of spongy parenchyma	2-3	5-6	2
Bundle sheath	Absent	Absent	Present
Layer number of collenchyma	1-2	4	4-5
Number of vascular bundles	3	3	4
Vascular bundle type	Collateral	Collateral	Collateral, Concentric
Druse crystals	Many	Medium	Many
Cuticle	Present	Present	Present

Table 5. The stoma features in the upper and lower epidermis

	<i>R. crispus</i> Abaxial / Adaxial	<i>R. obtusifolius</i> Abaxial / Adaxial	<i>R. patientia</i> Abaxial / Adaxial
Number of stomata (1 mm ²)	126/102	78/64	136/87
Width of stomata (µm)	28,06/ 34,22	25,19/ 24,89	23,19/ 25,89
Length of the stomata (µm)	40,78/ 43,30	38,25/ 33,77	31,267/ 34,22
Number of epidermal cell	158/185	120/122	187/125
Stomatal index	44,3/35,5	39,3/20,7	42,1/41,0
Stomata type	Anisocytic/Anisocytic	Anomocytic/Anomocytic	Anomocytic/Anisocytic

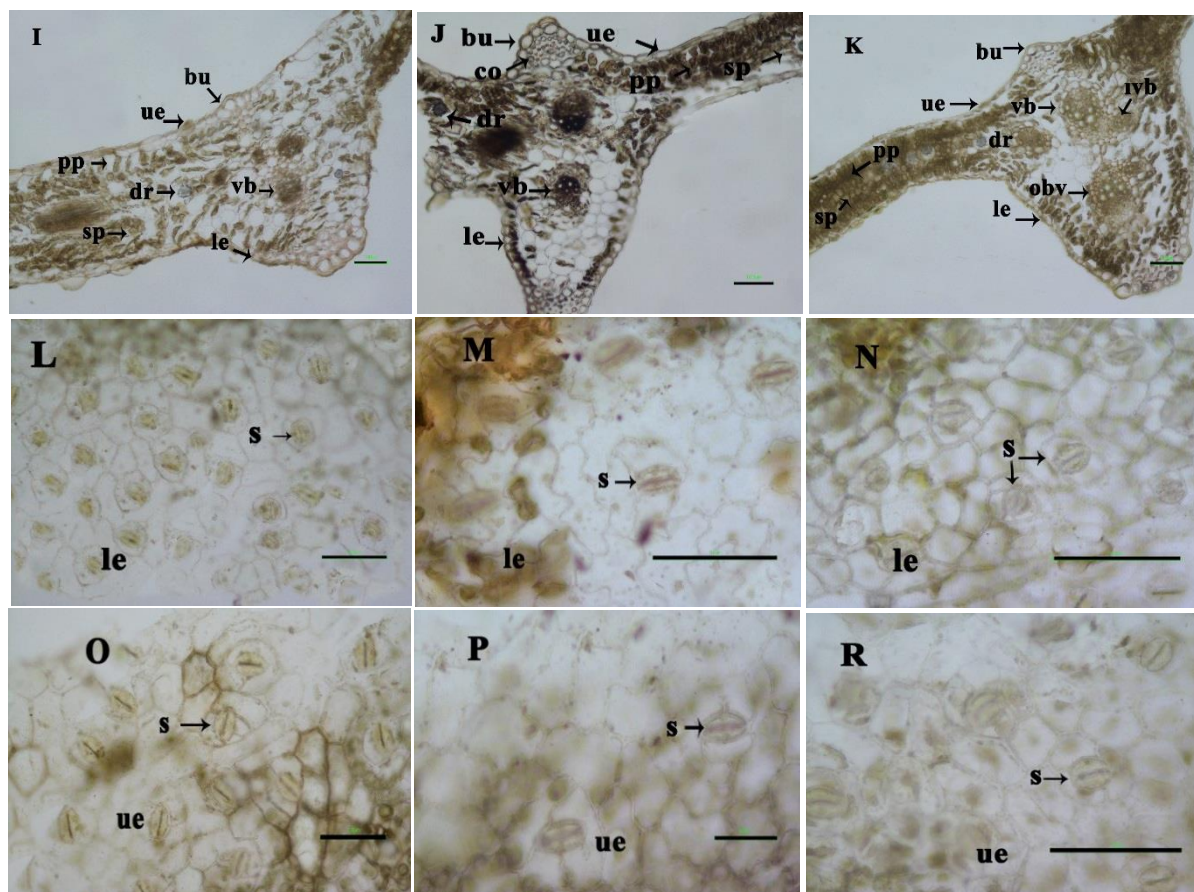


Figure 3. Transverse and superficial sections of leaf. I-L-O) *R. crispus*, J-M-P) *R. obtusifolius*, K-N-R) *R. patientia*. ue: Upper epidermis, le: Lower epidermis, pp: Palisade parenchyma, sp: Spongy parenchyma, s: Stoma, dr: Druse crystal, co: Collenchyma, vb: Vascular bundle, bu: Bulge, obv: Obcollateral bundle, ivb: Internal vascular bundle (scale bar 100 μm)

In this study, the anatomical features of the vegetative organs of three species belonging to the genus *Rumex* were examined comparatively. *R. crispus* and *R. patientia* had rhizomes. The root anatomy of the taxa was examined from the lateral roots taken from the rhizome. *R. crispus* roots were in primary structure and there were 1-2 layered of epidermis. The numbers of xylem arms were 5-6. The cortex was 9-10 layered. De Micco and Aronne stated that the cortex of *R. scaturus* had a few layered of aerenchyma was observed [17]. Laan et al. in a study about *R. crispus* species found the presence of aerenchyma cells and the amount of aerenchyma was reported to increase with the exposure of the root flood [25]. Peridermis cells of *R. patientia* were in 2-3 layered, peridermis cells of *R. obtusifolius* were in 3-4 layered. Phloem cells were most distinct in *R. obtusifolius*. Druse crystal was observed only at the root of *R. obtusifolius*.

In the cross-sections of stem that constitute our research subject, the number of corners of their stem was different from each other. The corner number of *R. crispus* was 10, *R. patientia* was 14 and *R. obtusifolius* was 8. The stem of *R. obtusifolius* was irregular-wavy shaped and hair only on this species. *R. crispus* had

cuticle on the stem epidermis. In the stem of *R. crispus* and *R. patientia* species, while the vascular bundles were in regular order, in *R. obtusifolius* observed scattered bundles unique to monocotyledons [26]. Internal bundles were detected in stem of *R. crispus* and *R. patientia*, while no internal bundles were seen in *R. obtusifolius*. In *R. hastatus* there were no internal bundles, as was *R. obtusifolius* [19]. Soleimani et al. stated that there were internal bundles in the stem of *R. crispus*. There were also studies that mention the presence of internal and obcollateral vascular bundles in the stem of the *R. patientia* [27, 28]. Sclerenchyma cells on the vascular bundles were arranged in different ways. Sclerenchyma cells of *R. crispus* were dome-shaped and, they were flat or polygonal shaped in *R. patientia*. No sclerenchyma was found on the vascular bundles of *R. obtusifolius*. Soleimani et al. stated the sclerenchyma shapes on phloem as broad crescent-shaped in *R. conglomeratus*, circular cap-shaped in *R. crispus*, and narrow crescent-shaped in *R. dentatus* [20]. Collenchyma of varieties of taxa was different from each other. The lacunar collenchyma was observed in *R. crispus*, lamellar collenchyma was in *R. patientia*, and the angular collenchyma was in *R. obtusifolius*. *R. obtusifolius*, *R. crispus* and *R. patientia*

had 45-50, 16-17 and 95-100 druse crystals, respectively. In addition, Sahney and Vibhasa showed that druse crystals were found in *R. hastatus* species [19].

In *R. obtusifolius* leaf cross-section, unlike other species, the edges of the cell walls of the epidermis were wavy. Leaf cross-sections of the species showed an outward bulge in the upper epidermis of the middle vessel region. This bulge was most prominent in *R. obtusifolius*. The presence of this bulge was first detected by us. There were 4 vascular bundles in the middle vascular region of *R. patientia* taxa, while in *R. crispus* and *R. obtusifolius* were 3. *R. vesicarius* L. species had 2 vascular bundles in the middle vessel region [29]. Anomocytic stomata was detected on the abaxial surface of *R. patientia* and anisocytic stomata on the adaxial surface. The leaf mesophyll of *R. patientia* consisted of 2-layer palisade parenchyma and 2-layer spongy parenchyma. Soleimani et al. showed that the cells of the palisade parenchyma were 2-layered in a way they do in *R. patientia* [20]. The presence of anisocytic and paracytic stomatas in *R. patientia* was mentioned by Khan and Hayat [30].

IV. CONCLUSION

With this study, the anatomical features of the vegetative organs of three species in *Rumex* genus were examined in detail. The presence of vascular bundle type and druse crystals in the roots of taxa may be distinctive. The presence of cuticles and feathers on the epidermis of the stem, the number of corners and shapes of stems, the arrangement of the vascular bundles, the amount of internal bundles, the number of druse crystals in the pith, the collenchyma types can be considered taxonomically important. In leaf cross-sections, outward bulge was detected of upper epidermis. This bulge was less pronounced in *R. crispus* and *R. obtusifolius* was very pronounced. The bulge in the epidermis, the number of collenchyma layers, the number of layers of palisade and spongy parenchyma, and the stoma index may be important characters in distinguishing the species belonging to the *Rumex* genus.

REFERENCES

- [1] Geven, F., Bingöl, Ü., & Güney, K., (2008). The revision of Polygonaceae family at herbarium ANK and to prepare of the database. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 8(1), 67-85.
- [2] Davis, P.H., (1967). Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh University Press, 2, p. 265-293.
- [3] Davis, P.H., (1988). Flora of Turkey and the East Aegean lands. Edinburgh University Press, 10, p. 86-292.
- [4] Sharma, M., Sharma, P., & Rangaswami, S., (1977) Crystalline chemical components of the roots of *Rumex nepalensis*. *Indian J. Chem.*, 16B, 289-291.
- [5] Kuruüzüm, A., & Demirezer, L.Ö., (1997). Usage and Biological Activities of *Rumex* Species. *Fabrad J. Pharm. Sci.*, 22, 21-26.
- [6] El-Bakry, A. A., Mostafa, H.A.M., & Eman, A., (2013). Antibacterial and antioxidant activities of seedlings of *Rumex vesicarius* L. (Polygonaceae). *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(29), 2158-2164.
- [7] Ginovyan, M., Petrosyan, M., & Trchounian, A., (2017). Antimicrobial activity of some plant materials used in Armenian traditional medicine. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 17(1),50.
- [8] Pareek, A., & Kumar, A., (2014). *Rumex crispus* L.—A plant of traditional value. *Drug Discovery*, 9(20), 20-23.
- [9] Aghajanyan, A., Nikoyan, A., & Trchounian, A., (2018). Biochemical activity and hypoglycemic effects of *Rumex obtusifolius* L. seeds used in armenian traditional medicine. *Hindawi BioMed Research International*, Volume 2018, 1-10.
- [10] Demir, E., Sürmen, B., Özer, H., & Kutbay, H.G., (2017). Salıpzarı ve Çevresinde (Samsun/Türkiye) Doğal Olarak Yetişen Bitkilerin Etnobotanik Özellikleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 7(2), 68-78.
- [11] Ulcay, S., & Şenel, G., (2020). An Ethnobotanical Study on Some Medicinal and Edible Plants Distributed Around Tokat in Turkey. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8-1, 62-69.
- [12] Metcalfe, C.R., & Chalk, L., (1950). Anatomy of the Dicotyledons, p: 724. Oxford University Press, Oxford.
- [13] Metcalfe, C.R., & Chalk, L., 1979. Anatomy of the Dicotyledons, 2nd ed., vol. I. Oxford University Press, Oxford, p. 276.
- [14] Stace, C.A., (1984) The Taxonomic Importance of the Leaf Surface. In: Heywood, V.H. and Moore, D.M., Eds., Current Concepts in Plant Taxonomy, Academy Press, London, 67-94.
- [15] Lu, H.F., Jiang, B., Shen, Z.G., Shen, J.B., Peng, Q.F., & Cheng, C.G., (2008). Comparative leaf anatomy, FTIR discrimination and biogeographical analysis of *Camellia* section *Tuberculata* (Theaceae) with a discussion of its taxonomic treatments. *Plant Syst. Evol.*, 274: 223–235.
- [16] Carlquist, S., (2003). Wood anatomy of Polygonaceae: analysis of a family with exceptional wood diversity. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141, 25–51.
- [17] De Micco, V. and Aronne, G. (2010). Root structure of *Rumex scutatus* growing on slopes. *IAWA Journal*, Vol. 31(1), 13–28.
- [18] Ghazalah, Y., Khan, M.A., Shaheen, N., & Hayat, M.Q., (2010). Micromorphological investigation of foliar anatomy of *Fagopyrum* Mill., and *Rumex* L. of Polygonaceae. *Pak. J. Bot.*, 42(1), 47-57

- [19] Sahney, M., & Vibhasa, (2012). Stem Anatomy of Medicinally Important *Rumex hastatus* D. Don (Polygonaceae). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 8(2), 154-157.
- [20] Soleimani, M., Jafari, A., Shahrokhbady, N.K., & Moghadam, A.D., (2014). Comparative Anatomical and Palynological Studies on *Rumex* L. species (Polygonaceae) in NE Iran. *Greener Journal of Biological Sciences*, 4(4), 111-115.
- [21] Goremykina, E.V., & Dinekina, E.A., (2016). Traits of stem anatomy of some herbaceous members of the family Polygonaceae Juss. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 71(3), 121–125.
- [22] Davis, P.H., (1966). Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Edinburgh University Press. vol II, p. 15-88-246.
- [23] Vardar, Y., (1998). Botanikte Preparasyon Teknikleri. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Baskı İşleri, İzmir, p. 112.
- [24] Meidner, H. & Mansfield, T.A., (1968). Physiology of stomata. McGraw- Hill, London, p. 176
- [25] Laan,P., Berrevoets, M.J., Lythe, S., Armstrongt, T.W., & Blom C.W.P.M., (1989). Root morphology and aerenchyma formation as indicators of the flood-tolerance of *Rumex* species. *Journal of Ecology*, 77, 693-703.
- [26] Zimmermann, M.H., & Tomlinson, P.B., (1972). The Vascular System Of Monocotyledonous Stems. *Botanical Gazette*, 133(2), 141-155.
- [27] Maheshwari, P., & Singh, B., (1941). On the internal bundles in the stem of *Rumex patientia* L. Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Section B, 15(3), 153-157.
- [28] Keshavarzi, M., Ebrahimi, F., & Mosaferi, S., (2018). Comparative anatomical and micromorphological study of some *Rumex* species (Polygonaceae). *Acta Biologica Szegediensis*, 62(1), 45-52.
- [29] Tawab, S.A., Wafaa, S.M., Reem, M.S., & Morsi, F.A., (2017). Morphological and anatomical studies on some dicot plant species collected from East Egypt desert. *Journal of Scientific Research in Science*, 34(1), 602-610.
- [30] Khan ,M.A., & Hayat M.Q., (2010) Micromorphological investigation of foliar anatomy of *Fagopyrum* Mill., and *Rumex* L. of Polygonaceae. *Pak. J. Bot.*, 42(1), 47-57.

PV Panel Sıcaklığı Üzerinde Etkili Olan Atmosferik Parametrelerin Araştırılması

Investigation of Atmospheric Parameters Affecting PV Panel Temperature

Mustafa ATMACA¹ , İmdat Zafer PEKTEMİR² 

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

²Konya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü

Öz

Enerji kaynakları çok sınırlı. Diğer taraftan, fosil yakıtlar kirletici emisyonlara neden olmakta ve fosil yakıtların olumsuz etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıtların artan olumsuz etkileri doğal çevreyi tehdit etmektedir. Şu bir gerçektir ki, sürdürülebilirlik, enerji kaynakları yenilenebilir olduğunda sağlanabilmektedir. Bir başka deyişle, sürdürülebilir bir yaşam için, yenilenebilir enerjinin kullanılması kaçınılmaz bir olgudur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmanın en pratik yollarından birisi ise, PV (fotovoltaik) panellerin kullanımınıdır. Güneş enerjisinden elektrik üreten bu panellerin sıcaklığı, elektrik üretimi yaparken yükselmektedir. Bu problemin çözümü, PV panellerin verimli kullanımı için çok önemlidir. Artan sıcaklık probleminin çözümü için ilk adım ise, panel sıcaklığı üzerinde etkili olan atmosferik parametrelerin belirlenmesidir. Bu çalışmada, değişik iklimsel koşullar altında, PV panel sıcaklığının nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu amaçla, bir PV sistem dizayn edilmiş ve PV panel sıcaklığının ölçülmesi için, bir sıcaklık sensörü PV panelin merkezine yerleştirilmiştir. Çalışma farklı iklim koşullarına sahip günlerde yürütülmüş olup, atmosferik parametreler ölçülmüştür. Diğer taraftan, elde edilen veriler, bu konuda yapılmış diğer çalışmaların verileri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, güneş radyasyonu, hava sıcaklığı ve rüzgar hızının panel sıcaklığı üzerinde çok etkili faktörler olduğunu göstermektedir. Özellikle, rüzgar hızı PV panel sıcaklığının belirlenmesinde mutlaka hesaba katılmalıdır.

Anahtar kelimeler: Güneş ışınımı, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı, PV panel sıcaklığı

Abstract

Energy sources are very limited. On the other hand, fossil fuels cause polluting emissions and their negative effects are increasing day by day. Therefore, increased negative effects of fossil fuels threatened the natural environment. It is reality that sustainability is possible when energy sources are renewable. In other words, usage of renewable energy sources is inevitable fact for a sustainable life.

One of the most practical ways of gained renewable energy is usage of PV (photovoltaic) panels. The temperature of these panels which produce electricity from solar energy increases during electricity production. Solving of this problem is very important for efficient usage of the PV panels. First step of solving of increased temperature problem is determine to effective atmospheric parameters on the PV panel temperature. In this study, the PV panel temperature was investigated under different climatic conditions. For this purpose a PV system was designed and a temperature sensor was placed on the center of the panel for measure of PV panel temperature. Study was conducted on several days which had different climatic conditions and atmospheric parameters were measured. On the other hand, results were compared with other studies about this issue. Results show that solar irradiation, ambient temperature and wind speed are very effective factors on the PV panel temperature. Particularly, wind speed should be consider for determine of the PV panel temperature.

Keywords: Solar irradiance, ambient temperature, wind speed, PV panel temperature

1.GİRİŞ

PV paneller, güneş ışınlarından elektrik üretimine olanak sağlarlar. Ama elektrik üretimi yaparken panellerin sıcaklığı yükselir. Bu yüzden panelin elektriksel verimi düşer. Kalogirou and Tripanagnostopoulos [1] çalışmalarında; verim düşümü problemi hakkında aşağıdaki saptamayı yapmışlardır.

Monokristal (c-Si) ve polikristal (pc-Si) silikon güneş hücreleri için verim düşüşü, her bir derece sıcaklık artışında, yaklaşık 0,45% dir. Amorf silikon güneş hücreleri için, bu etki daha düşük olup her bir derece için, yaklaşık 0,25% dir [1].

Ayrıca PV panel sıcaklığının belirlenmesi, PV/T (fotovoltaik-termal) sistem çalışmalarında önemlidir. Fotovoltaik-termal (PV/T) sistemler, artan PV panel sıcaklığını düşürmesinin yanısıra, farklı şekillerde enerji dönüşümlerine olanak sağlarlar. Bu sistemlerin başlıcaları, hava esaslı ve su esaslı sistemlerdir [2].

Diğer taraftan, bu çalışmalar arasında iki akışkanlı fotovoltaik-termal sistem çalışmaları vardır. Örneğin, Atmaca M. ve arkadaşları [3], bir PV/T sistem sayesinde aynı güneş panelinden ısıtma, sıcak su ve elektrik elde etmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Ayrıca artan sıcaklık probleminin çözümü, PV panellerin verimli kullanımı için çok önemlidir ve sıcaklık artışı probleminin çözümünde ilk adım, PV panel sıcaklığı üzerinde etkili olan atmosferik parametrelerin belirlenmesidir. Bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan birisi Bardhi ve arkadaşlarının [4] yaptığı çalışmadır. Çalışma sonuçlarına göre; radyatif terimin ihmali halinde PV panel sıcaklığı, düşük güneş ışınımı seviyelerinde fazla hesaplanmış, yüksek güneş ışınımı seviyelerinde ise düşük hesaplanmış olur.

Ayrıca, Lasnier ve Ang [5], polikristal PV modüllerde gerçekleşen, panel sıcaklığı için aşağıdaki formülü önermişlerdir. (Burada G: güneş ışınımı, Ta ise ortam sıcaklığıdır.)

$$T_{PV} = 30 + 0.0175(G-300) + 1.14(T_a - 25) \quad (1)$$

Bir başka çalışmada, Muzathik A.M. [6] PV panel sıcaklığının belirlenmesi için, rüzgar hızının da hesaba katıldığı aşağıdaki eşitliği ortaya koymuştur. Burada $T_{ambient}$; ortam sıcaklığını ($^{\circ}C$), Irridance; ışınım miktarını (W/m^2), wind speed ise rüzgar hızını (m/s) göstermektedir.

$$T_{module}(^{\circ}C)$$

$$= 0.943 \times T_{ambient} + 0.0195 \times Irridance - 1.528 \times Wind\ speed + 0.3529 \quad (2)$$

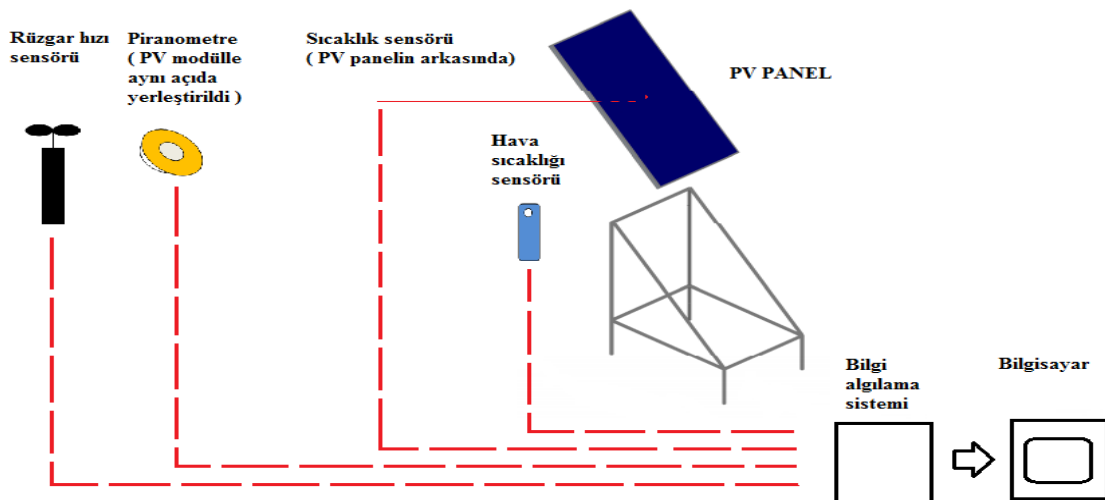
İşletme sıcaklığı, fotovoltaik dönüşüm süreçlerinde önemli bir rol oynar [7]. Bu çalışmada, farklı iklimsel koşullarda, atmosferik parametrelerin PV panel sıcaklığını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Ayrıca, bu atmosferik parametrelere bağlı olarak, gövde sıcaklığının, nasıl bir eğilim gösterdiği şekillerle açıklanmıştır. Bu amaçla, Türkiye'de Konya İli'nde bir fotovoltaik sistem tasarlanmış ve 33° eğimle monte edilmiştir. Çalışma, farklı iklimsel koşullarda yürütülmüş ve bu koşullarda PV panel sıcaklığının nasıl değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca sonuçlar, Muzathik [6] ve Lasnier ve Ang'ın [5] çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma, PV panel sıcaklığı ile atmosferik parametrelerin eşzamanlı değişimini inceleyerek ve farklı çalışma sonuçları ile karşılaştırmalar yaparak, bu konuda yapılacak araştırma ve montaj süreçlerine ışık tutmayı hedeflemektedir.

II.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Sistemin Tanımı

Şekil 1'de deney tesisatı ve Tablo 1'de, özellikleri verilen sensörlerin yerleşimi, şematik olarak gösterilmiştir. PV panel, köşegen profilden imal edilmiş modül platformu üzerine, doğrudan yerleştirilmiştir. Deney tesisatı elektriksel devresine ait ekipmanlar; elektriksel devre, inverter, şarj kontrol cihazı, akü ve kesici pano, temel ekipmanlar olmak üzere, bunlara bağlı donanımlardan oluşmaktadır. İnverterler, şarj kontrol cihazları ve kesici anahtarlar, bir kumanda panosu içerisine monte edilmiştir.

Piranometre ile ışınım değerleri ölçülmüş olup, PV paneliyle aynı açıda (33°) yerleştirilmiştir. Rüzgar hızını ölçen sensör ise, PV panelin üst kenarı seviyesine yerleştirilmiştir. Şekil 1 ile ilgili diğer detaylar, Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği ve sensör yerleşimi [8,9,10]

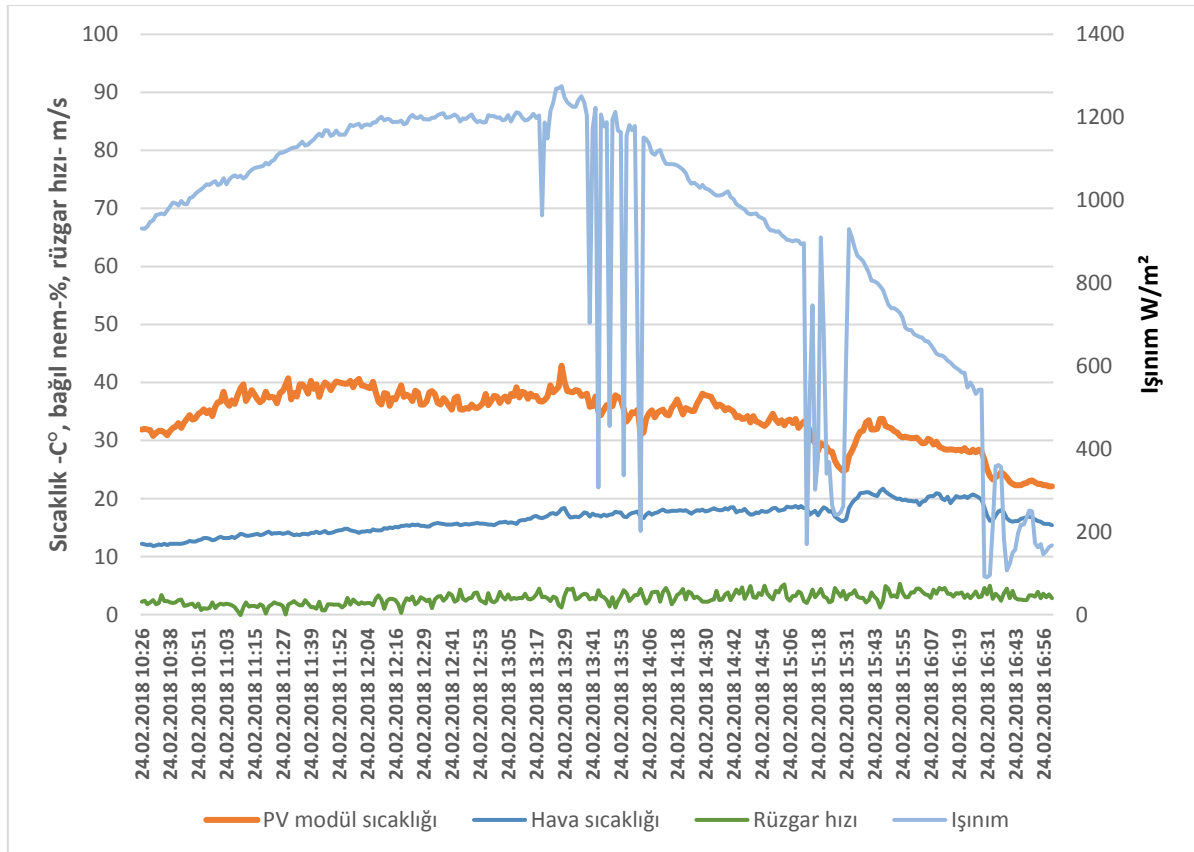
Tablo 1. Sensör özellikleri

No	Sensör tipi	Yerleştirme şekli	Özellikleri
1	Sıcaklık sensörü	PV panelin arka yüzünün ortasına yerleştirilmiştir.	Pt 100
3	Piranometre	33°eğim açısıyla yerleştirilmiştir.	EKO MS- 410 Hassasiyet:11.78 $\mu\text{V}/\text{Wm}^2$,0-2000W/m ²
4	Hava sıcaklığı sensörü	Direkt güneş ışınlarına maruz kalmayacak şekilde,1m yüksekliğe ve yerleştirilmiştir.	NTC 10 K
5	Rüzgar hızı sensörü	PV panel üst seviyesine yerleştirilmiştir.	3 armed cup anemometer Hall sensor array

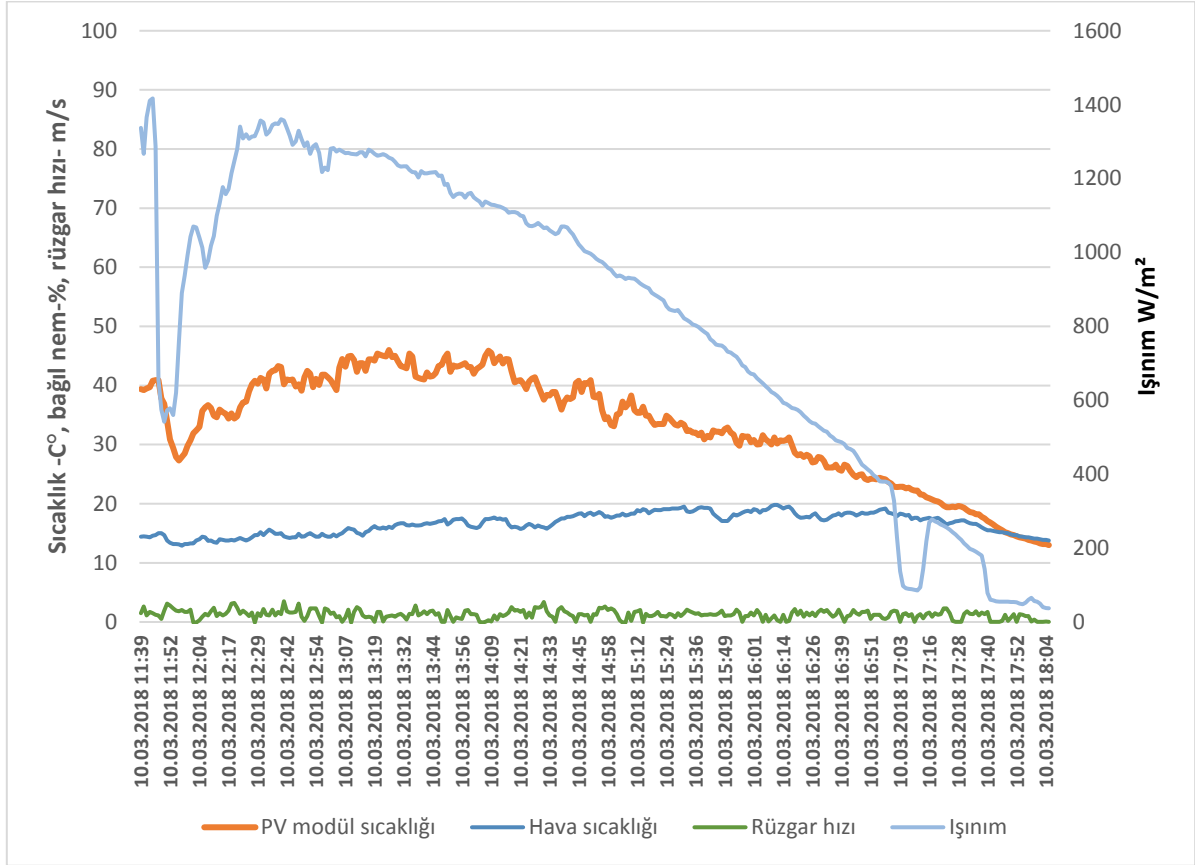
III. ANALİZ

Çalışma farklı iklimsel koşullara sahip günlerde yürütülmüştür. Bu günler; 24 Şubat, 10 Mart, 11 Mart, 22 Nisan, 28 Nisan, 29 Nisan ve 1 Temmuz günleridir. İlk altı gün rüzgarlı günler olmakla birlikte, 1 Temmuz sakin bir gündür. Ele alınan günlerde, hava sıcaklığı 10 °C ile 40 °C arasında değişmektedir. Ayrıca PV panel gövde sıcaklığının; güneş ışınımı, hava sıcaklığı ve rüzgar hızına bağlı olduğunu ve güneş ışınımı

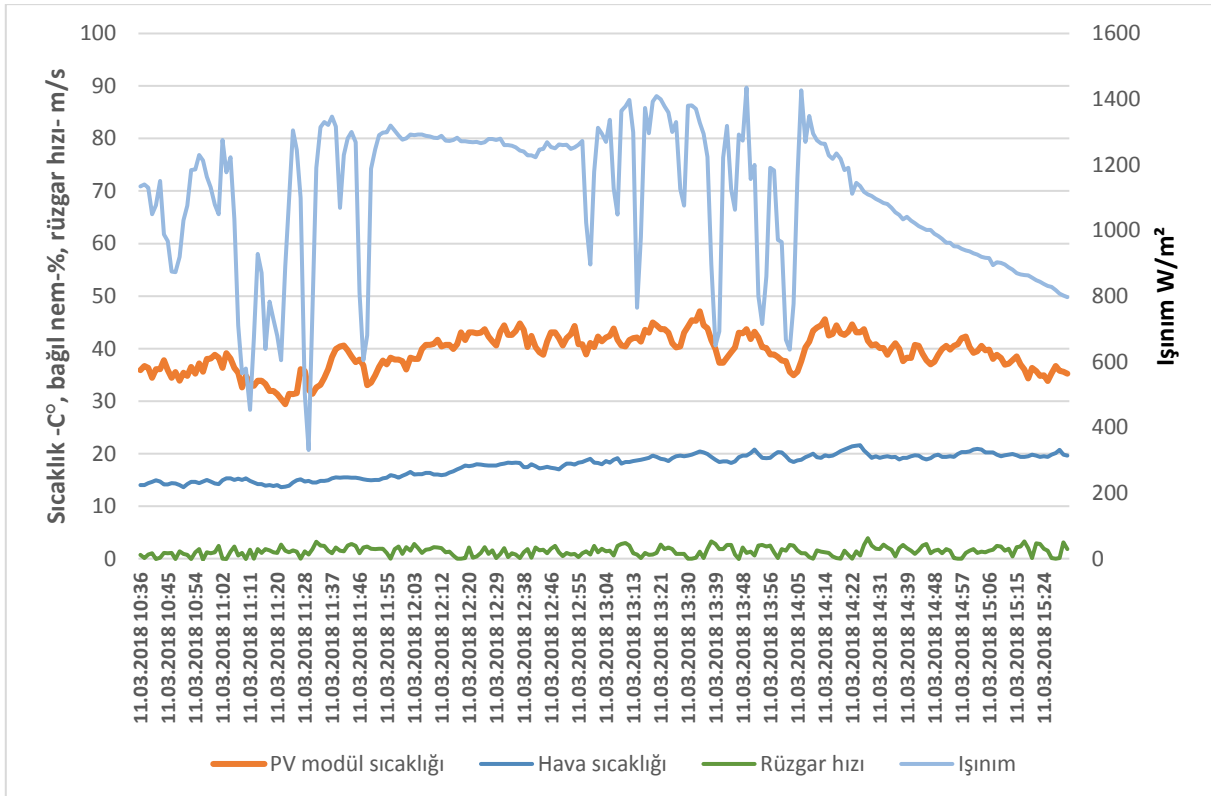
arttığında PV panel gövde sıcaklığının arttığını aşağıdaki şekillerden kolaylıkla görebiliriz (Şekil 2-Şekil 8). Özellikle, güneş ışınları bulutlar tarafından engellendiğinde, güneş ışınımında keskin düşüşler görülmektedir. Bu düşüş anlarında, PV panel sıcaklığındaki düşüşleri Şekil 2, Şekil 4 ve Şekil 8'de belirgin olarak görebiliriz. Ayrıca, maksimum PV panel sıcaklığı, 1 Temmuz tarihinde gerçekleşmiştir çünkü, 1 Temmuzta hava sıcaklığı oldukça yüksektir ve rüzgar yoktur.



Şekil 2. 24. 02.2018 tarihindeki temel parametreler.



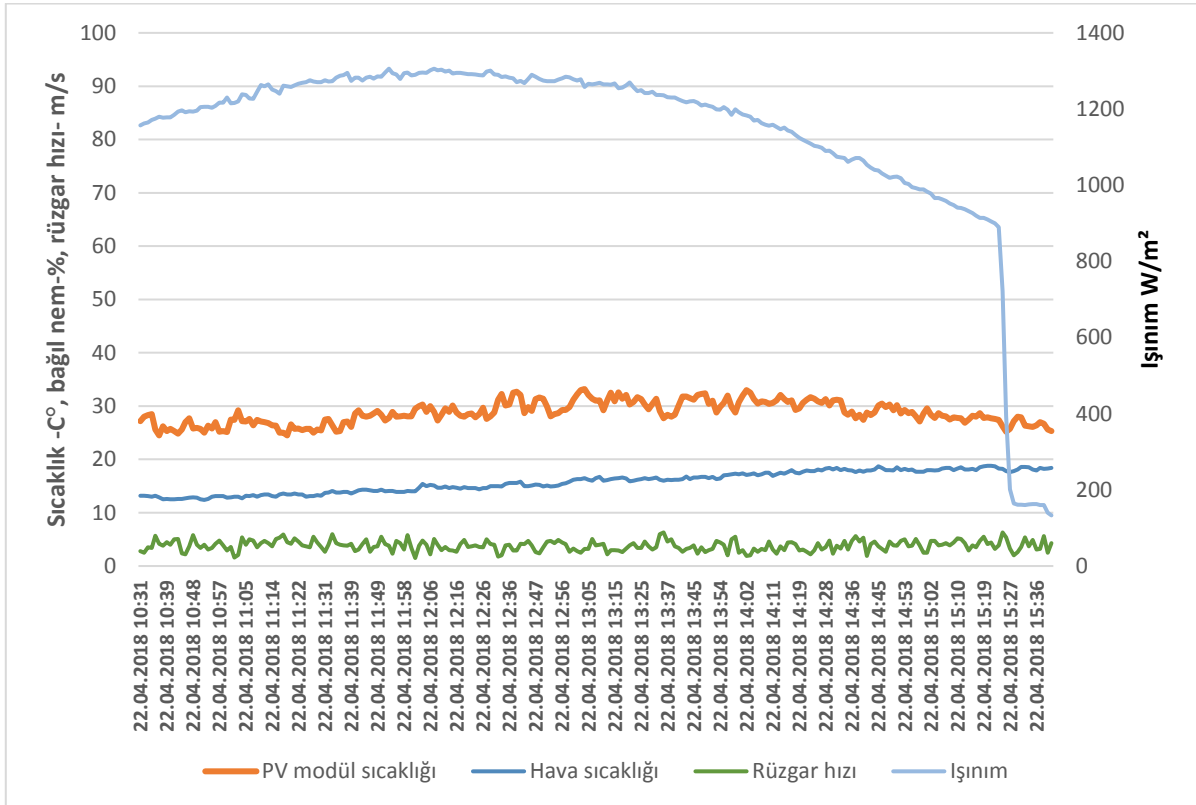
Şekil 3.10.03.2018 tarihindeki temel parametreler.



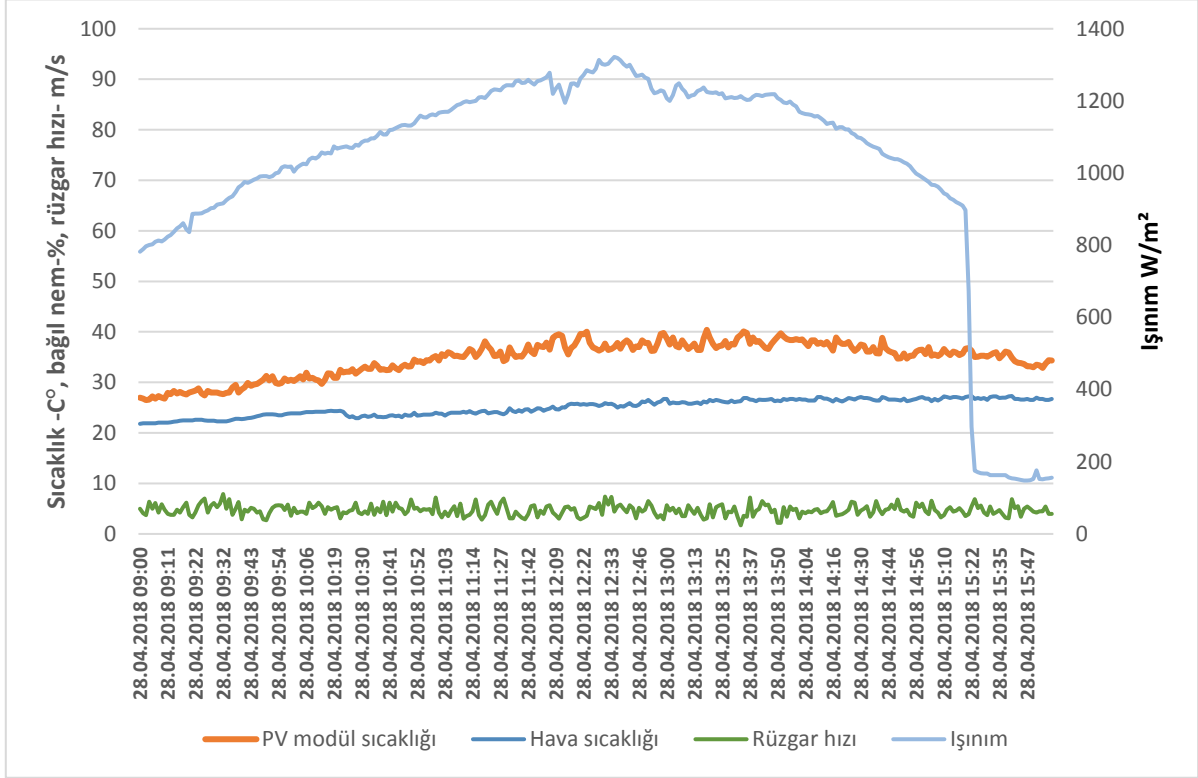
Şekil 4. 11.03.2018 tarihindeki temel parametreler.

Şekil 2 Şekil 3 ve Şekil 4' ten kolayca anlaşılacağı üzere, güneş radyasyonu değerinin artması ve azalması modül sıcaklıklarını doğrudan etkilemektedir. Işınımın yüksek olduğu zaman dilimlerinde, modül sıcaklıklarının yükseldiğini, ışınımın azaldığı zaman dilimlerinde de modül sıcaklıklarının azaldığını görülmektedir. Ayrıca rüzgar hızının artması ve azalması modül sıcaklıklarını doğrudan etkilemektedir. Şekil 3'te 10 Mart gününe ait temel atmosferik parametrelerin ve gövde sıcaklığının değişimi görülmektedir. Bu şekilde, 11:53 civarında, bulutlanmaya bağlı olarak güneş ışınımındaki keskin düşüşü görebiliriz. Bu keskin düşüşe bağlı olarak da PV panel gövde sıcaklığı, 40 °C civarından 30 °C civarına düşüş göstermiştir. Yine 24 Şubat günündeki değişim, Şekil 2'de, 11 Mart günündeki değişim, Şekil 4'te görülmektedir. Yine bu şekillerde, güneş ışınımına bağlı olarak, PV panel gövde sıcaklığının değiştiği görülmektedir. Diğer taraftan, rüzgar hızındaki değişimin, PV panel gövde sıcaklığını etkilediğini Şekil 2'de gösterilen 24 Şubat gününde ait grafik ile Şekil 3'te gösterilen, 10 Mart gününe ait grafiği karşılaştırarak görebiliriz. Her iki günde de, hava sıcaklığı yaklaşık 10 °C ile 20 °C aralığında gerçekleşmiştir. Fakat rüzgar hızı 24 Şubat günü, 10 Mart gününe göre daha yüksek bir seyir izlemiştir ve

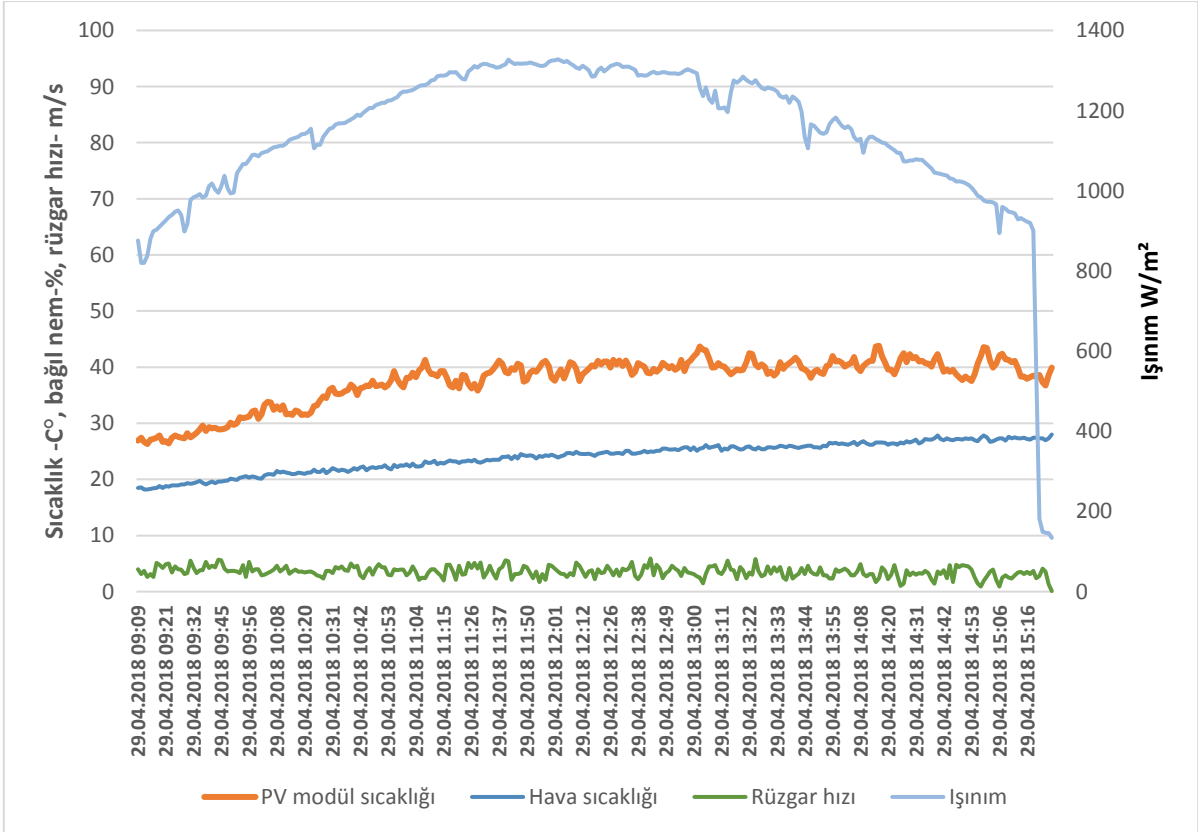
özellikle her iki günde de, saat 12:30-13:30 aralığında ışınım değerleri birbirine yakındır fakat rüzgar hızı 24 Şubat günü, 10 Mart gününe göre daha yüksektir. Bu sebeple de, PV panel gövde sıcaklığı, 24 Şubat günü, belirtilen zaman aralığında, 40 °C civarında değişirken, 10 Mart günü 45 °C değerine çıkmıştır. Ayrıca hava sıcaklığı, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterildiği üzere, 24 Şubat, 10 Mart, 11 Mart ve 22 Nisan günlerinde; 10 °C ile 20 °C aralığında, Şekil 6 ve Şekil 7' de gösterildiği gibi, 28 ve 29 Nisan günlerinde 20 °C ile 30 °C aralığında, Şekil 8'de gösterildiği üzere, 1 Temmuz günü ise, yaklaşık olarak 30 °C ile 35 °C aralığında değişim göstermiştir. 1 Temmuz günü, rüzgarsız bir gün olması ve yükselen hava sıcaklığı nedeniyle, PV panel gövde sıcaklığı, 60 °C değerine kadar çıkabilmiştir. Diğer günlerde ise, rüzgar hızı değerine de bağlı olarak, 30 °C ile 45 °C civarında bir değişim göstermiştir. Çalışmada, gövde sıcaklığı üzerinde etkili olan atmosferik parametrelerin, genel bir değerlendirmesi amaçlandığından, belirsizlik analizi yapılmasına gerek duyulmamıştır. Tablo 2'de PV panel gövde sıcaklığının ve atmosferik parametrelerin, incelenen günlerdeki ortalama değerleri, Tablo 3 ve Şekil 9' da ise, PV panel gövde sıcaklığı için incelenen modellerle deneysel sonuçların karşılaştırılması verilmiştir.



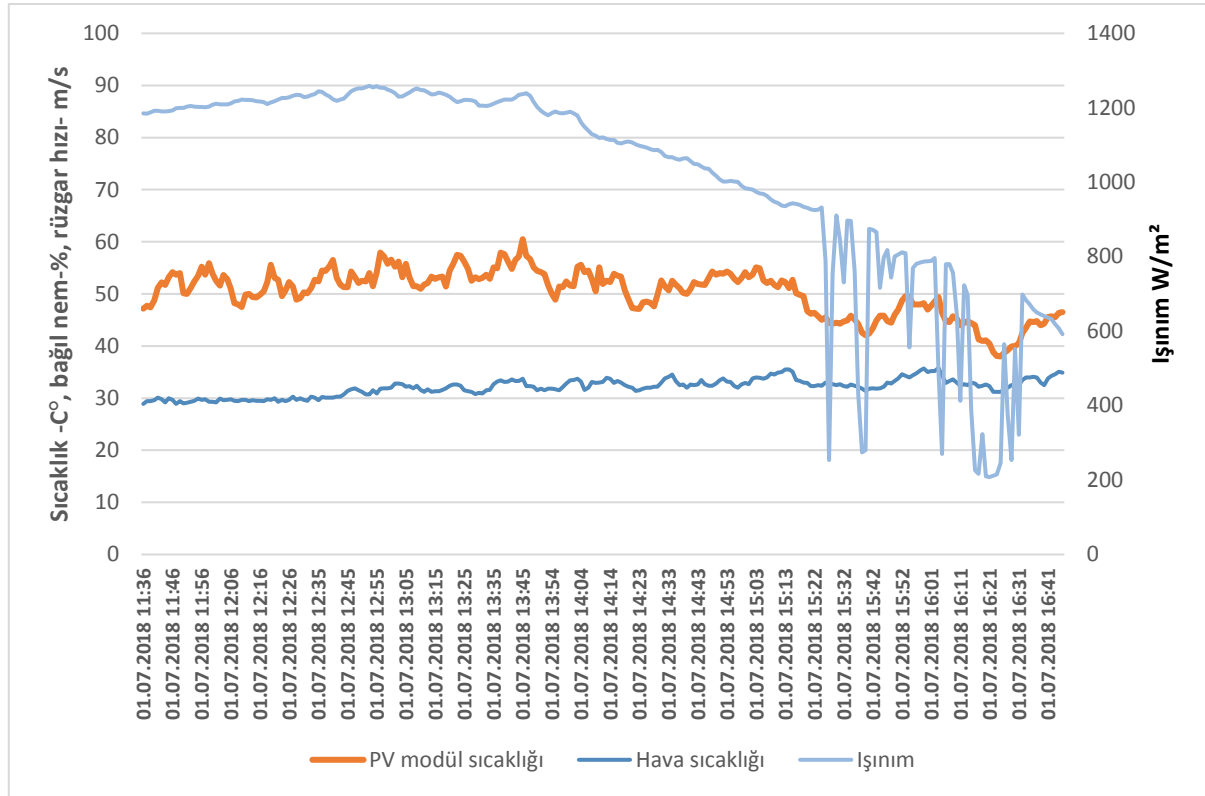
Şekil 5. 22.04.2018 tarihindeki temel parametreler.



Şekil 6. 28.04.2018 tarihindeki temel parametreler.



Şekil 7. 29.04.2018 tarihindeki temel parametreler.



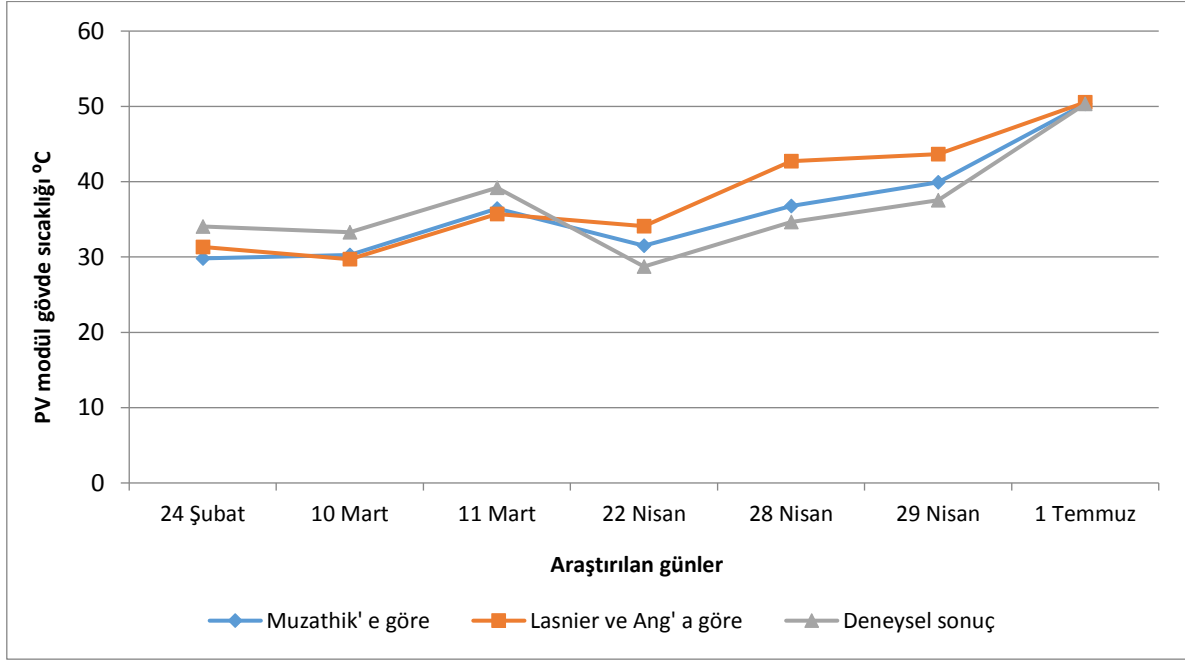
Şekil 8. 01.07.2018 tarihindeki temel parametreler.

Tablo 2. PV modül gövde sıcaklığının ve atmosferik parametrelerin incelenen günlerdeki ortalama değerleri

Günler	24.02	10.03	11.03	22.04	28.04	29.04	01.07
Ortalama hava sıcaklığı °C	16.4892	16.6326	17.7151	15.7868	25.0518	23.9909	32.0822
Ortalama güneş ışınımı W/m ²	931.5895	828.2019	1101.139	1133.979	1023.734	1145.293	1011.747
Ortalama rüzgar hızı m/s	2.7824	1.2471	1.3756	3.8156	4.7023	3.5242	0
Ortalama modül sıcaklığı °C	34.0351	33.2669	39.1789	28.7333	34.6609	37.5521	50.32

Tablo 3. PV modül gövde sıcaklığı için incelenen modellerle deneysel sonuçların karşılaştırılması

Günler	Muzathik'in çalışmasına göre bulunan gövde sıcaklıkları [6] (°C)	Lasnier ve Ang'ın çalışmasına göre bulunan gövde sıcaklıkları [5] (°C)	Deneysel olarak bulunduğumuz PV modül gövde sıcaklıkları (°C)
24.02	29.8167	31.3505	34.0351
10.03	30.2818	29.7046	33.2669
11.03	36.4285	35.7151	39.1789
22.04	31.5222	34.0915	28.7333
28.04	36.7544	42.7243	34.6609
29.04	39.9245	43.6422	37.5521
01.07	50.3354	50.5292	50.3200



Şekil 9. İncelenen modellerle deneysel sonuçların karşılaştırılması

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Sonuç

Çalışma sonuçları, karşılaştırma yapılan diğer iki çalışma [5,6] sonuçlarını desteklemektedir. Özellikle bu çalışma, Muzathik' in çalışmasının [6] sonuçlarını daha kuvvetli desteklemektedir. Çünkü, rüzgar hızı PV panel sıcaklığı üzerinde oldukça önemli bir faktördür. Rüzgar hızının artmasının veya azalmasının PV modül sıcaklığı üzerinde doğrudan etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca PV panel sıcaklığı üzerinde diğer önemli faktörler, güneş ışınımı ve hava sıcaklığıdır. Özellikle, güneş ışınımının anlık değişiminin, panel sıcaklığını anlık olarak etkilediği anlaşılmaktadır. Işınım miktarının arttığı anlarda PV modül sıcaklığının da arttığı, ışınım değerinin azaldığı anlarda ise modül sıcaklıklarının da azaldığı net bir şekilde görülmüştür. Deneysel sonuçlar, güneş ışınımı, hava sıcaklığı ve rüzgar hızının, PV panel sıcaklığı üzerinde çok önemli faktörler olduğunu göstermektedir. Özellikle, rüzgar hızı PV panel sıcaklığının belirlenmesinde mutlaka hesaba katılmalıdır. Ayrıca sonuçlar, PV panelin merkezinden yapılan sıcaklık ölçümünün, panel sıcaklığını oldukça iyi temsil ettiğini göstermektedir.

4.2. Teşekkür

Bu çalışma, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2017 FEN-C-DRP 070317-0111nolu proje ile desteklenmiştir. Deneysel çalışmalar, Konya Innopark' da gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Kalogirou S.A., Tripanagnostopoulos Y., (2006). Hybrid PV/T Solar Systems for Domestic Hot Water and Electricity Production, *Energy Conversion & Management* 47, 3368-3382.

[2] Atmaca M, Pektemir I.Z., Yılmaz E., (2018). PV Panelin Altına Serbest Olarak Yerleştirilen Siyah Emici Plakanın Termal Kapasitesinin Belirlenmesi 2. *Multidisipliner Çalışma Kongresi, Adana- Turkey*, 4-5 Mayıs.

[3] Atmaca M, Pektemir I.Z., Yılmaz E., (2018). "Solenam" Solar Energy Absorber Machine" İsimli Yeni Bir Tasarım Sayesinde Aynı Güneş Panelinden Isıtma, Sıcak Su ve Elektrik Elde Edilmesi Olanaklarının Araştırılması 3. *Multidisipliner Çalışma Kongresi, Kiev- Ukrayna*, 5-6 October.

[4] Bardhi M, Grandi G, Tina G.M., (2012). Comparison of Cell Temperature Estimation by Different Thermal Power Exchange Calculation Methods, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality Spain*, 28th to 30 th March.

[5] Lasnier F, Ang T.G., (1990) Photovoltaic engineering handbook. *Adam Higler*; p.258.

[6] Muzathik A.M., (2014). Photovoltaic Modules Operating Temperature Estimation Using a Simple Correlation, *International Journal of Energy Engineering*, 4,151-158

[7] Dubey S, Sarvaiya J.N, Seshadri B., (2013). Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in The World- a review, *Energy Procedia*, 33,311-321

[8] Atmaca M., Pektemir İ.Z., (2019). Investigation on the effect of the total efficiency of water and air used together as a working fluid in the photovoltaic thermal systems, *Processes*, 7, 516.

[9] Pektemir İ.Z., Atmaca M., (2019). PV/T Sistemlerde Termal İletken Yapıştırıcı Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, *Hezarfen Uluslararası Fen Matematik ve Mühendislik Bilimleri Kongresi*, 8-10 Kasım, İzmir, Turkey.

[10] Atmaca M., Pektemir İ.Z., (2019). PV Panelinin Altına Serbest Olarak Yerleştirilen Siyah Emici Plakanın Termal Kapasitesinin Belirlenmesi, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, vol.31, pp.280-285.

Elektronik Şalter ve Kaçak Akım Röleli Hibrit Bir Sistemin Geliştirilmesi

Development of a Hybrid System with Electronic Switch and Residual Current Relay

Mustafa YAĞIMLI¹, Ahmet YURTÇU²

¹*İstanbul Gedik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34876, İstanbul, Türkiye*

²*İstanbul Gedik Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programı, 34876, İstanbul, Türkiye*

Öz

Manyetik alan prensibine göre çalışan geleneksel röleli anahtarlarda; rölenin enerjilenmesi, kontağı çekmesi için geçen süre, yüksek güçlü uygulamalarda kontağın aşırı ısınma sonucu yapışması, oluşacak arklar sonucu yangına sebebiyet vermesi, enerji tasarrufu gibi sorunları mevcuttur. Elektrik çarpmasında hayat kurtarıcı ve yangın tehlikesine karşı kullanılan kaçak akım rölesinde ise rölenin enerjilenip kontağı itmesi ve sistemi enerjisiz bırakmasında geçen sürenin insan hayatının kurtarılmasında nanosaniyeler mertebesinde olması gerekir. Literatürde; elektronik şalter düşük güçlü devrelerde kullanılmıştır. Bu çalışmada, yüksek güçlü devrelerde kullanılmak üzere elektronik şalter ile kaçak akım rölesi hibrit olarak geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektronik şalter, devre kesici, sıfır geçiş, hibrit sistem.

Abstract

In traditional relay switches working according to the magnetic field principle; The relay has energization, the time it takes to pull the contact, in high-power applications, the contact sticks due to overheating, causing fire due to arcs to occur, and energy saving. In the leakage current relay, which is used to save life and fire danger in electric shock, the time it takes for the relay to energize and push the ignition and to de-energize the system must be in the order of nanoseconds in saving human life. In the literature; the electronic switch is used in low-power circuits. In this study, the electronic switch and leakage current relay have been developed as hybrid for use in high power circuits.

Keywords: Electronic switches, circuit breaker, zero crossing, hybrid system.

I. GİRİŞ

Hem günlük yaşam hem de üretim tesisleri için elektrik vazgeçilmez bir enerji türüdür. Hemen hemen her türlü cihazın kullanımı için mutlaka elektrik enerjisi gereklidir. Dünyadaki kalkınmışlık düzeyi ve teknolojik gelişim, elektrik üretimi, elektrikle çalışan aygıtlar ve tüketilen elektrik enerjisi ile doğru orantılı olarak kabul edilir. Elektrik enerjisi insanlık için ne kadar vazgeçilemez ise de gerekli önlemler alınmadığı sürece sonu ölümlere varan kazalara ve ağır makine ve ekipman hasarına sebep olmaktadır. Bu kadar tehlikeli olmasına rağmen günümüzde elektrik enerjisinin kullanılmadığı bir yaşam da düşünülemez [1]. Teknolojilerin baş döndürücü bir şekilde devam ettiği günümüzde özellikle sanayide elektrik enerjisinin önemi de kullanım alanları da her geçen gün giderek artmaktadır. Dolayısıyla elektrik kazalarının sayısında da buna paralel olarak artış olmuştur.

Şu anda yürürlükte olan mevzuatlarımıza göre iş kazası 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nun 13. Maddesi'nde ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 3. Maddesi'nde kavramsal olarak yer almaktadır. İş kazasının ulusal ve uluslararası yapılan tanımlarda özellikle, çalışanların o an veya sonradan ruh ve beden sağlığına özne uğratan veya ölüme sebebiyet veren bir olay olduğu belirtilmektedir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistikleri incelendiğinde ülkemizdeki iş kazalarının öncelikli sebeplerinin arasında elektrikle çalışmaların da geldiği görülmektedir. 2016 yılı SGK istatistiklerine göre 614 "Bir kaynak arkı, kıvılcım veya çakması" iş kazası olmuştur. SGK tarafından oluşturulan bu istatistiklere sadece iş göremezlik ve ölümlerle sonuçlanan kazalar alınmaktadır. Can kaybına veya yaralanmaya sebep olmayan sadece maddi hasara neden olan veya herhangi bir zararlı sonuçlanmayan kazalarda bu sayıya eklendiğinde bu rakamın çok daha yüksek olduğu görülmektedir [2].

Elektrik kaynaklı kazaların birçoğuna elektrik sistemlerinde meydana gelen kaçak akımların neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle kaçak akım rölesi elektrikte işçi sağlığı ve güvenliğinin temel unsuru olarak düşünülebilir. Kaçak akım röleleri insan hayatını korumaya yönelik bir unsur olduğundan oldukça önemli ve bir elektrik sisteminde kesinlikle bulunması gereklidir. Ayrıca bir binanın ya da endüstriyel bir tesiste kullanılan tüm

elektrik sistemlerinin topraklama sisteminin doğru şekilde yapılmış olması kaçak akım rölelerinin doğru çalışmasında oldukça etkilidir [3].

Elektrik uygulamalarında kazalara karşı emniyet, genel olarak cihaz ve tesislerin temel izolasyon yoluyla elde edilmektedir. Fakat temel izolasyondaki arızalar tehlikeli durumlara yol açabilmekte olup, bu gibi durumlar çok yüksek olan gövde akımlarına karşı ilave koruyucu önlemlerin alınması gerektirmektedir [4].

Bu bağlamda yapılan çalışmanın amacı hem yüksek akımlar gerektiren elektrik tesislerinde kullanılan panolarda oluşan elektrik arklarından dolayı meydana gelen kazaları engellemek hem de elektronik olarak çok daha hızlı çalışacak olan bir elektronik şalter ve kaçak akım rölesi tasarlamaktır. Bu iki işlem önerilen sistemde bütünlük olarak tasarlanmıştır [5].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Günümüzde elektronik röle kullanımı oldukça artmıştır. Özellikle sektörün önde gelen firmaları yüksek fiyatlara ürettikleri ürünleri satmaktadırlar. Ancak bu ürünlerin çoğu elektromanyetizma prensibine göre çalışmaktadır. Yani bunun anlamı yine röle kontakları elektromanyetik alan oluşturularak kontrol edilmekte olduğudur. Yine bu tür rölelerin bazılarında sıfır noktası geçiş sistemi kullanıldığı görülmektedir. Bu sistemin birçok avantajı vardır. Bunların başında elektrik sarfiyatının önüne geçilmesi, rölenin kontaklarının daha uzun ömürlü kullanılması, aşırı akımlardan ve oluşacak arklardan hem sistemin hem de çalışanın korunmasıdır. Ancak yine de röle içerisinde kontakların kullanılması hem çalışmada milisaniyeler kadar olsa da bir gecikme meydana getirilmesini sağlarken aynı zamanda kontakların aşırı akımlarda yapışması ve oluşacak arklardan dolayı bozulmasını sağlamaktadır.

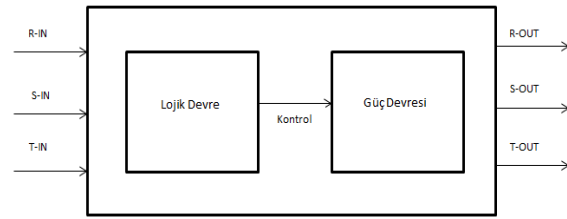
Sıfır geçiş tabanlı detektörler birçok alanda kullanılmaktadır. Sıfır geçiş tabanlı detektörler; anahtarlama sistemleri [6], görüntü analizi [7], shaft titreşimlerinin açısız ölçümleri [8], hassas ultrason ölçümleri [9], rotor konumunun tespit edilmesi [10] gibi yaygın kullanıma sahiptir. Günümüzde; distorsiyonun, gecikmenin ve maliyetin en düşük olduğu sıfır geçiş tabanlı elektronik şalter çalışmaları bulunmaktadır. Vorobyov ve Vitols; optik yalıtıcı devreler [11], karşılaştırıcı devreler [12-13], işlemsel yükselteçler [14], adaptif filtre yöntemleri [15-16], yapay sinir ağları [17] sıfır geçişli detektör tiplerini distorsiyon seviyesi, gecikme ve fiyat olarak karşılaştırmıştır [18].

Yapılan çalışmada elektronik rölede elektromanyetik alan prensibine göre çalışan kontaklar yerine kullanılacak MOC serisi bir optokuplör entegresi ile bir triyağın tetiklenmesi ile akım geçişinin sağlanması gerçekleştirilmiştir. MOC serisi entegresi aynı zamanda sıfır nokta akım geçiş prensibine göre çalıştırılarak aşırı akım sonucu oluşabilecek her türlü

ark oluşumundan kaynaklanacak patlama ve yangınların önüne geçilerek hem tüm sistemin hem de çalışanın korunması sağlanmıştır [19].

Ayrıca önerilen sistemde devreye elektronik kaçak akım rölesi eklenerek şu an ülkemizde üretimi olmayan bir sistemin yapımı sağlanmıştır.

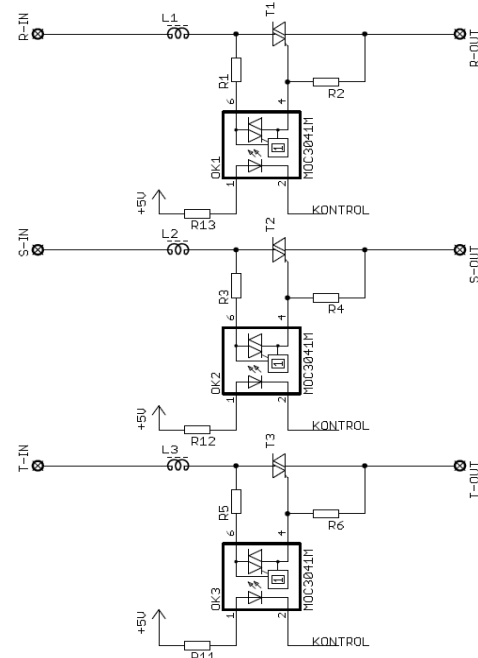
Şekil 1’de görüldüğü gibi önerilen sistem iki ayrı devreden oluşmaktadır. Birinci devre güç devresi olup sisteme gücün aktarılmasını kontrol eder. İkinci devre olan lojik devre güç devresinin kontrolünü sağlar. Lojik devrede kontrolü sağlamak için PIC serisi bir mikrodenetleyici kullanılmıştır. Güç devresinde ise ayrıca toroid bir transformator kullanılarak kaçak akım rölesi çalışması sağlanmıştır. Ayrıca MOC serisi bir optokuplör ile AC sinyalin sıfır geçiş noktasında triyakların tetiklenmesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Önerilen sisteme ait blok şema

2.1. Güç Devresi

3 Faz girişleri (R-IN/S-IN/T-IN) lojik kart üzerinde gösterilen trigger coil adlı toroidal transformator içerisinde geçerek T1/T2-T3 triyakları ile çıkışa (R-OUT/S-OUT/T-OUT) aktarılır. Her faza ait triyaklar sıfır geçiş detektörü içeren optodiyak entegresi olan MOC3041M (OK-1/OK-2/OK3) entegreleri ile sürülür. Lojik devreden optik olarak izole edilmiştir. Şekil 2’de güç devresi verilmiştir.

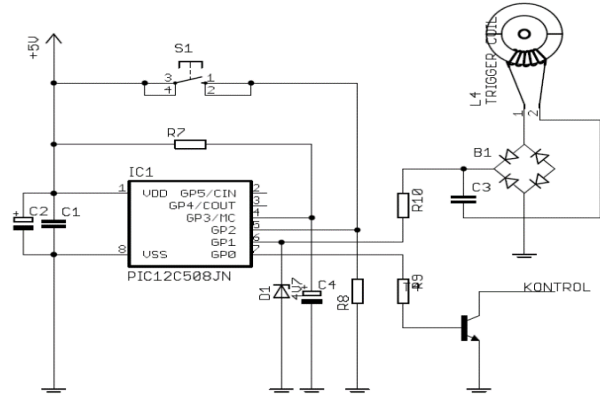


Şekil 2. Güç devre şeması

2.2. Lojik Devre

Şekil 3'te lojik devre şeması görülmektedir. Devrede PIC 12C508 mikrodenetleyicisinin üç adet pini kullanılmıştır [20]. GP2 pini bağlı bir push button ile sistemin devreye alınması veya devreden çıkarılması sağlanmaktadır. GP1 pini güç katındaki L1-L2-L3 bobinlerinin de sarılı bu toroidal transformator üzerine 0,2 mm kesitli 1200 tur trigger bobini elde edilmiştir. Böylece L1-L2-L3 bobinlerinden akan yük akımı dışında toprağa bir akım akması halinde hissedilecektir. Hata anında indüklenen bu gerilim AC olduğu için B1 köprü diyotu ile doğrultularak GP1 pinine uygulanmıştır. Mikrodenetleyiciyi aşırı gerilimden korumak için 4,7 Volt zener diyot (D1) kullanılmıştır. GP0 pini mikrodenetleyicinin kontrol çıkışıdır. Aynı anda üç adet MOC3041 tetikleneceği için NPN bir transistör ile tamponlanmıştır. Bu transistöre uygulanan pozitif tetikleme sinyali güç katındaki her faza ait optodiyakların GND pinlerinin devreyi tamamlamasını sağlar. Fakat, MOC3041 entegresi bu anda iletme geçmeyip her fazın sıfır noktasını bekler. Bu süre en

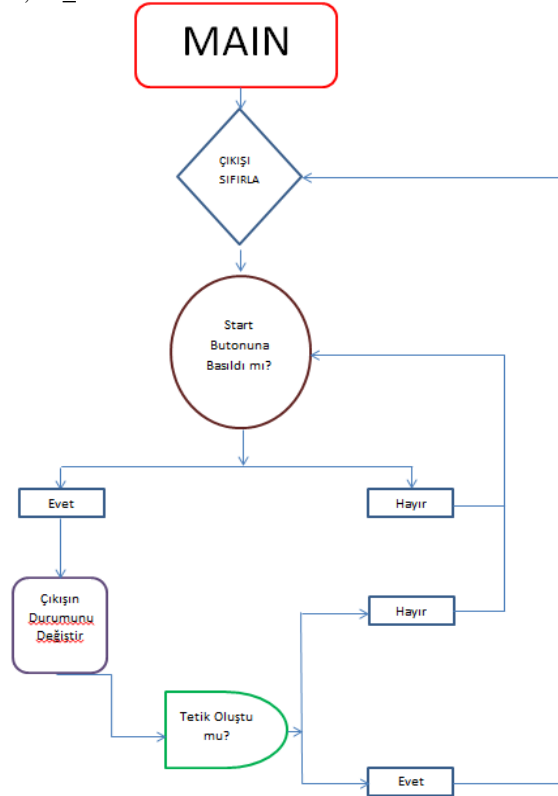
fazla 1/100 saniye sürer. Bunun nedeni frekansı 50 Hz olan AC sinyalde toplam 100 adet alternans olmasıdır. Mikrodenetleyici içerisinde proton programı kullanılarak yazılan kodlar ve program algoritması Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Lojik devre şeması

```
Device = 12F508
Xtal = 4
Reminders = false
Config INTRC_OSC,WDT_OFF,MCLR_ON,CP_OFF
Reminders = true
TRISIO = %00000110
GPIO = %000000000
Dim X As Byte
```

```
MAIN:
If GPIO.1=1 Then
  GoSub ROTAR
  Toggle GPIO.0
EndIf
If GPIO.2=1 Then
  GPIO.0=0
EndIf
GoTo MAIN
ROTAR:
For X=0 To 10
  DelayMS 6
Next X
If GPIO.1=1 Then
  X=0
  GoTo ROTAR
Else
  Return
EndIf
GoTo MAIN
End
```



Şekil 4. Program algoritması

2.3. Önerilen Sistemin Genel Çalışması

3 Faz girişleri (R-IN/S-IN/T-IN) TRIGGER COIL adlı toroidal transformator içerisinde geçmektedir. Ancak, bu durumda fiziksel bir bağlantı bulunmamaktadır. Bu

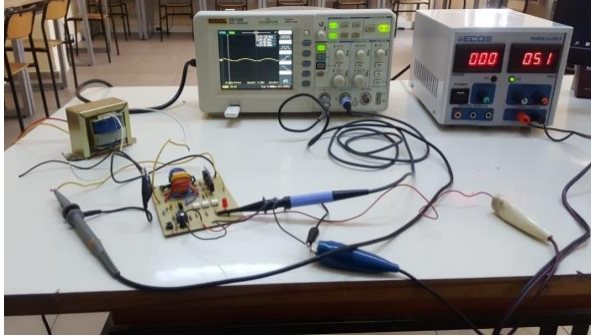
yapının amacı, transformatorün yapısı gereği üç faz girişlerin transformatorde oluşturacağı manyetik alanı takip etmektir. Böylece, düşük seviyelerde bile herhangi bir manyetik alan değişimi algılanıp

transformatör tarafından mikrodenetleyiciye iletilecek ve mikrodenetleyicinin GP0 pinine bağlı kontrol çıkışı tarafından güç devresindeki MOC entegreleri kesime götürülecektir. Böylece çok hızlı çalışan elektronik bir kaçak akım rölesi sistemi kurulmuştur.

Trigger bobini adlı toroidal transformatör çıkışı köprü diyot ile doğrultularak mikrodenetleyicinin GP1 pinine bağlanmaktadır. Böylece, transformatör üzerindeki manyetik alan değişimi mikrodenetleyiciye aktarılmıştır. Devredeki mikrodenetleyici kontrolü sayesinde piyasada kullanılan rölelerin aksine kontak kullanımına gerek kalmamıştır. Böylece, hem kontaklarda oluşacak arklar önlenerek olası yangın ve elektrik çarpmalarının önüne geçilirken hem de sinyaldeki gecikme önlenmiştir.

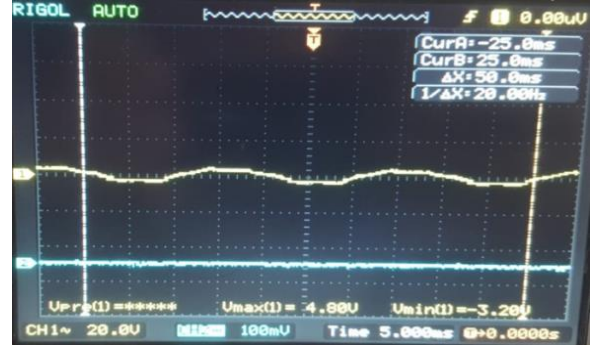
Lojik devrede mikrodenetleyicinin GP0 pininden çıkan sinyal yine lojik devrede gösterilen NPN tipi transistör ile tamponlanarak güç devresindeki üç ayrı MOC entegresi optodiyak uçlarına bağlanmaktadır. Böylece, MOC entegresi içerisindeki triyakların tetiklenmesi sağlanmaktadır. Herhangi bir yük akımındaki değişiklik anında kontrol çıkışı kesilecek ve MOC entegreleri kesime gidecektir. İletime geçirme esnasında ise MOC3041 entegreleri sıfır geçiş noktasını bekleyerek sisteme enerji yükleyecektir. Böylece piyasada kullanılan şalterlerin tersine hem sistem hem de can güvenliği sağlanmış olacaktır.

III. SONUÇ



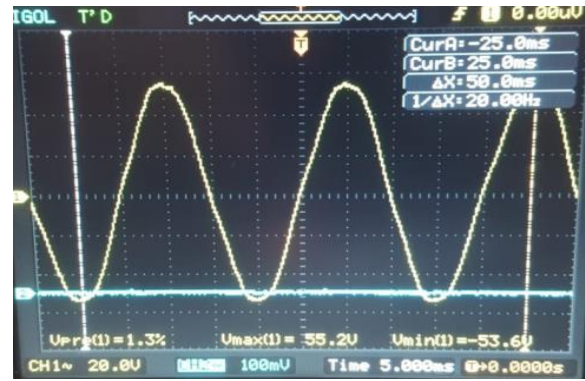
Şekil 5. Devre bağlantılarının genel görünümü

Şekil 5'te önerilen sisteme ilişkin ölçümlerinin yapıldığı devre bağlantıları görülmektedir. Önerilen sistem üç faz olup 380 Volt ve 25 W güce kadar çalışabilmektedir. Ancak, osiloskop ölçümlerini daha güvenli bir şekilde yapmak amacı ile tek faz üzerinden çalıştırılmıştır. Sistem girişine bir AC transformatör yardımı ile 20 Volt gerilim uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Yük olarak devre çıkışında 100 Ω -5 W'lık taş direnç kullanılmıştır. Mikrodenetleyici besleme sinyali olarak DC 5 Volt bir üreteç yardımı ile devreye uygulanmıştır. Yapılan ölçümlerde RIGOL DS1102E marka dijital osiloskop kullanılmıştır. Osiloskobun 1. kanalında (CH1 - sarı renkli sinyal) önerilen sistemin çıkış sinyali, 2. kanalında (CH2 - mavi renkli sinyal) ise mikrodenetleyici çıkışındaki triyakların tetikleme sinyali görülmektedir.



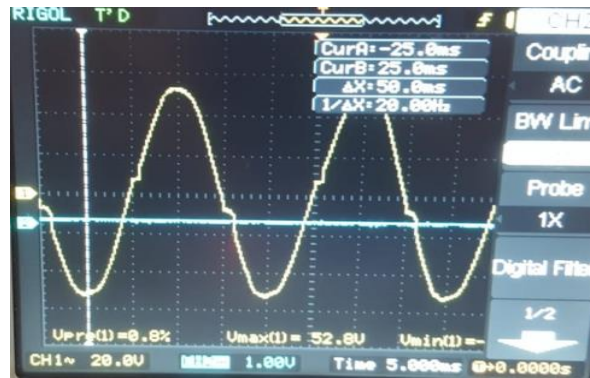
Şekil 6. Tetikleme sinyali verilmeden çıkış sinyali

Şekil 6'da devre çıkışına yük bağlı değilken ve PIC mikrodenetleyiciye tetikleme sinyali verilmeden alınan sinyaller görülmektedir. Her iki sinyalde de devreye yükün bağlı olmamasından dolayı oluşan düşük seviyeli bir distorsiyon bulunmaktadır.



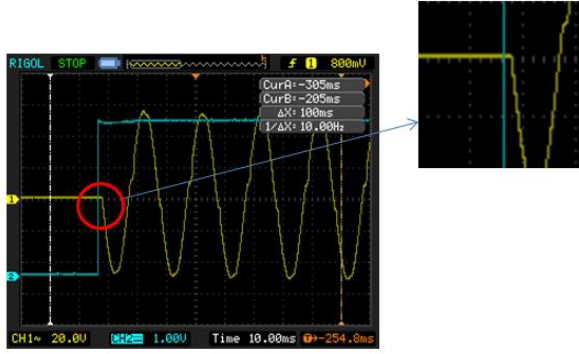
Şekil 7. Tetikleme sinyali verildiğinde çıkış sinyali

Şekil 7'de devre çıkışında yük bağlı olmadan mikrodenetleyici tarafında triyaklara tetikleme sinyali verildikten sonra alınan çıkış sinyali görülmektedir.



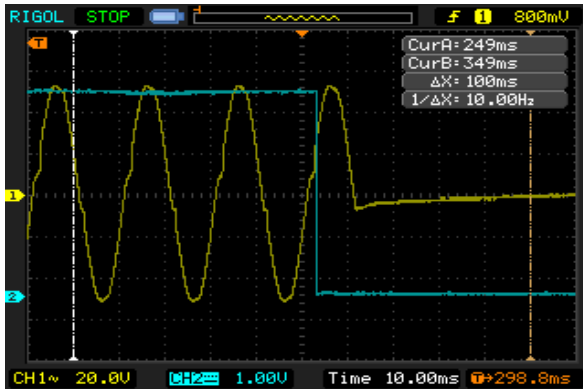
Şekil 8. Tetikleme sinyali verildiğinde çıkış sinyali

Şekil 8'de devre çıkışına yük bağlandığında mikrodenetleyici tarafından triyaklara tetikleme sinyali verildikten sonra alınan çıkış sinyali görülmektedir. Devre çıkışında yük bağlı olduğu andaki çıkış sinyalinde görülen kırılmalar transformatör ve önerilen sistemde kullanılan triyakların çalışma geriliminden daha düşük bir gerilimde ölçümlerin yapılmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Tetikleme sinyali verilme anındaki çıkış sinyalinin sıfır seviyesinde aktif olduğu an

Şekil 9'da mikrodenetleyici tarafından tetikleme sinyalinin verildiği anda MOC3041 entegrelerinin sıfır geçiş anında triyakları tetikleyerek giriş sinyalinin sıfır noktasında devrenin çıkışına aktarıldığı açıkça görülmektedir. Tetikleme sinyalinin verilmesi ile çıkış sinyalinin aktif olması arasındaki geçen süre tetikleme sinyalinin AC sinyalin hangi noktasında verildiğine göre değişmektedir. Bu da en fazla 50 KHz lik bir AC sinyalde yarım alternanslık süre olan 0,02 ms olacaktır.



Şekil 10. Tetikleme sinyali kesilme anındaki çıkış sinyalinin sıfır seviyesinde pasif olduğu an

Şekil 10'da mikrodenetleyici tarafından tetikleme sinyalinin kesildiği an ve triyakların kesime giderek çıkış sinyalinin kesildiği an görülmektedir. Tetikleme sinyali kesildiğinde çıkış sinyali AC sinyalin sıfır noktasında kesildiği görülmektedir.

IV. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada elektronik şalter ve kaçak akım röleli hibrit bir sistem tasarlanmış, üretilmiş ve fiziksel olarak test edilmiştir. Önerilen sistem, güç ve lojik kısım olarak iki ayrı alt sistemden oluşmaktadır. Bu iki kısım arasında fiziksel bir bağ yoktur. Bu durumda sistemin yüksek güç gerektiren endüstriyel ortamlarda elektrik panolarında güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Önerilen sistem, hem elektronik bir şalter hem de elektronik kaçak akım rölesi barındırmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Akarçay, O. (2017). Elektrik İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği İller Bankası A.Ş'ye Ait Bir Örnek Üzerinde İncelenmesi, Uzmanlık Tezi, Türkiye, s.1.
- [2] Sosyal Güvenlik Kurumu, <http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/i-statistik>, (Aralık 2019).
- [3] Yılmaz, Y. ve Özbey, Ş. (2003). Kaçak akım koruma cihazları. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 142-145.
- [4] Güner, R. (2013). Elektrikte işçi sağlığı ve güvenliğinin temel unsuru: Kaçak akım röleleri, *Elektrik Mühendisliği*, 447, 20-23.
- [5] Ceylan, H. (2012). Türkiye'deki elektrik iletim tesislerinde meydana gelen iş kazalarının analizi, *Electronic Journal of Vocational Colleges*. 98-109.
- [6] Zheng, G. ve Zhang, Z. (2012). A novel intelligent load control switch based on dynamic compensation method for current zero-crossing point. *Advanced Materials Research*, 4717-4724.
- [7] Florea, L., Flore C., Vranceanu, R. ve Vertan, C. (2012). Zero-crossing based image projections encoding for eye localization. *20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2012)*, Bucharest, Romania, 27-31 Ağustos.
- [8] Addabbo, T., Biondi, R., Cioncolini, S., Fort, A., Rossetti F. ve Vignoli, V. (2014). A Zero-crossing detection system based on FPGA to measure the angular vibrations of rotating shafts, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(12), 3002-3010.
- [9] Jobst, S. ve Bierl, R. (2014). A Comparison of correlation and zero-crossing based techniques in ultrasonic measurements, *Applied Research Conf.* 362-267.
- [10] Sun, L. (2019). A new method for sensorless control of brushless DC motor. *Cluster Computing*. 22(02), 2793-2800.
- [11] Wall, R. W. (2003). Simple methods for detecting zero crossing. Proceedings of the 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2003), 3, 2477-2481.
- [12] Elliott Sound Products, Zero crossing detectors and comparators, <https://sound-au.com/appnotes/an005.htm>, (Aralık 2019).
- [13] Rowlan, J. (2000). Differential line receivers function as analog zero-crossing detectors. *Electronic Design*. 142.
- [14] Irmak, E., Colak, I., Kaplan, O. ve Guler, N. (2011). Design and application of a novel zero-crossing detector circuit, *Proceedings of the 3rd International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG2011)*, 1-4, 11-13 Mayıs.
- [15] Vainio, O. ve Ovaska, S. J. (2002). Adaptive lowpass filters for zero-crossing detectors, *Proceedings of the 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2002)*, 2, 1483-1486, 5-8 Kasım.

-
- [16] Vainio, O. ve Ovaska, S. J. (1996). Digital filtering for robust 50/60 Hz zero-crossing detectors. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 45(2), 426–430.
- [17] Valiviita, S. (1998). Neural network for zero-crossing detection of distorted line voltages in weak AC-systems, *Proceedings of the Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC1998)*, 1, 280–285, 18–21 Mayıs.
- [18] Vorobyov, M. ve Vitols K. (2014). Low-cost voltage zero-crossing detector for AC-grid applications, *Electr. Control Commun. Eng.*, 6(1).
- [19] MOC 3041 Data Sheet, <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/MO/MOC3041M.pdf>, (Aralık 2019).
- [20] Microchip PIC 12C508 Data Sheet, <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC12C508>, (Kasım 2019).

Investigation of Nuclear Structures of Self-conjugate Zn, Ge, Se, Kr, Sr Nuclei

Öz-eşlenik Zn, Ge, Se, Kr, Sr Çekirdeklerinin Nükleer Yapılarının İncelenmesi

Serkan AKKOYUN¹ , Tuncay BAYRAM² 

¹Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science, Department of Physics, Sivas, Turkey

²Karadeniz Technical University, Faculty of Science, Department of Physics, Trabzon, Turkey

Abstract

The nuclear structure of the atomic nuclei can be theoretically investigated by using the nuclear shell model. Generally, a doubly closed-shell nucleus has been considered as inert core and the nucleons outside the core are taken into account in the calculation. It is assumed that the nucleons in the inert core do not move but each valence nucleon out of the core moves under an average potential created by the others. The self-conjugate ($N=Z$) medium mass nuclei region is one of the regions for the investigation of several phenomena because of the maximum spatial overlap of neutrons and protons. In this study, the structures of the medium mass $N=Z$ nuclei have been analyzed in the scope of the nuclear shell model by using KSHELL computer code. In the calculations, doubly magic ^{56}Ni were taken as core, and the $2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$ ve $2p_{1/2}$ single-particle orbits were used as valence orbits. Different two-body interactions (*jun45* and *f5pvh*) have been taken into account. The results have been compared with each other and the available values existing in the literature.

Keywords: Nuclear shell model, jun45, f5pvh, $N=Z$ nuclei, energy level, deformation.

Öz

Atom çekirdeklerinin nükleer yapıları, nükleer kabuk modeli kullanılarak teorik olarak incelenebilir. Genel olarak, bir çift-çift kapalı kabuk çekirdeği durağan kor (inert kor) çekirdek olarak kabul edilir ve bunun dışındaki nükleonlar hesaplamalarda dikkate alınır. Kor çekirdekteki nükleonların hareket etmediği, ancak kor dışındaki valans nükleonlarının, diğerleri tarafından yaratılan ortalama bir potansiyel altında hareket ettiği varsayılmaktadır. Öz-eşlenik ($N=Z$) orta ağırlığa sahip kütleli çekirdeklerin bölgesi, nötronların ve protonların azami uzaysal çakışması nedeniyle, bazı nükleer olguların araştırılması için uygun bölgelerden birisidir. Bu çalışmada, orta ağırlıktaki $N=Z$ çekirdeklerinin nükleer yapı özellikleri, nükleer kabuk modeli kapsamında KSHELL bilgisayar kodu kullanılarak araştırılmıştır. Hesaplamalarda kor çekirdek olarak çift sihirli ^{56}Ni ele alınmış ve valans orbitalleri olarak $2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$ ve $2p_{1/2}$ tek parçacık seviyeleri kullanılmıştır. Farklı iki cisim etkileşimleri (*jun45* ve *f5pvh*) ele alınmıştır. Sonuçlar birbirleriyle ve literatürdeki mevcut değerlerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nükleer kabuk modeli, jun45, f5pvh, $N=Z$ çekirdekler, enerji seviyesi, deformasyon

I. INTRODUCTION

Many nuclear properties of nuclei can be obtained from the mean-field approximation in which protons and neutrons move independently from each other in a common potential. The field is generated as a result of the interaction among nucleons [1-5]. Atomic nuclei at $N=Z$ line at the nuclide chart are very interesting in nuclear structure studies due to protons and neutrons (nucleons) occupy the same orbits. They are unique to study several phenomena such as shape coexistence along the $N=Z$ line and the role of pairing correlation of neutron and proton. Furthermore, these nuclei are in the rp-process pathway [6]. In order to investigate the nuclear structure including $N=Z$ nuclei, the nuclear shell model (SM) is one of the successful models [7-14]. Several phenomena can be predicted by using this model such as the energy of the excited states, their spin/parity, the electromagnetic transition probabilities and electromagnetic moments. In this model, protons and neutrons are filling the single-particle orbits in increasing order of energy, resulting in the concept of shell structure and shell closures.

Complete determination of the nuclear level schemes is an important issue for both experimentalists and theoreticians. In this way, theoretical models can be improved by the comparison of the experimental values thus extending the predictive power of the theoretical approach further away of the stability. In a simplified approach, the nuclear SM can be considered as similar to the electronic shell model of the atoms. Analogously, valence nucleons in the nuclei which are located out of inert core are responsible of the nuclear properties. The nuclei

having the particular numbers of protons and/or neutrons (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126) are called closed-shell nuclei and these nuclei are generally used as an inert cores in the calculations. Closed-shell nuclei are often very stable and have completely different properties compared with their neighbours. It is assumed that the nucleons in the inert core do not move, whereas each valence nucleon out of the core moves under the average potential by the others. Therefore, only valence nucleons are taken into account in the calculations.

For the SM calculations, there are many computer codes exist in the literature such as KSHELL [15], NuShellX [16], REDSTICK [17], BIGSTICK [18], ANTOINE [19] and Oxbash [20]. The investigated self-conjugate Zn, Ge, Se, Kr, Sr nuclei have been studied previously via different theoretical models [21-23]. In this paper, the first 2^+ and 4^+ excited state energies, reduced electric transition probabilities (B(E2) from 0^+ to 2^+ state, quadrupole deformation parameters (β), $R_{4/2}$ ratios of medium mass N=Z nuclei have been calculated and investigated by using KSHELL shell model code [15]. For this aim, shell model calculations with two different two-body interactions (*jun45* and *f5pvh*) have been performed and the results have been compared with each other and the literature data. These effective interactions are appropriate for the investigation of the nuclear properties for the nuclei in the upper pf-shell and N=Z nuclei in this shell [24]. Also, it was stated that the shell model with *jun45* describes very well the expected properties of the N=Z nuclei lie in this shell [25]. The KSHELL code enables us to perform nuclear shell-model calculations with M-scheme representation with the thick-restart Lanczos method. The code is easily used on a Linux PC with a many-core CPU and OpenMP library. Depending on the memory availability of the computer used, M-scheme matrices with dimensions of up to tens of billion elements can be diagonalized. In the calculations of the present study, doubly magic ^{56}Ni nuclei were taken as inert core and $2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$ ve $2p_{1/2}$ single-particle orbits form the valence orbits. Two different Hamiltonians for two-body interactions have been used. The results have been compared with each other and the available values in the literature.

II. MATERIAL AND METHOD

The model space above the ^{56}Ni closed-shell is suitable for the investigation of medium mass N=Z nuclei. The model space used in the calculations consists of $2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$ ve $2p_{1/2}$ valence orbits. The valence nucleons are distributed in these three orbits in order to minimize the energy for a determined spin. Because, the nucleons in the core with J=0 do not move from the core and the valence nucleons do not move into the core, we did not consider the nucleons in the closed-shells. In Figure 1, we have illustrates the model space and core for protons and neutrons used in this work. The Hamiltonian of the

valence nucleons is given by the following equation,

$$H = E_0 + \sum \varepsilon_i + \sum \langle ab;JT|V|cd;JT \rangle \quad (1)$$

where E_0 is the energy of the inert core, ε_i is single-particle energies that the nucleons in the i th orbits interact with the core and the last term $\langle ab;JT|V|cd;JT \rangle$ is two-body matrix elements for the valence particles. Here, the nucleon pairs in a , b and c , d orbits are coupled to spin and isospin quantum numbers J and T . For two-body interaction, *f5pvh* [26] and *jun45* [25] commonly used interaction Hamiltonians have been used separately in the calculations. Although the regions where the interactions are successful are explained in detail at the relevant papers, we have used these interactions for all N=Z nuclei in the pf-shell. The purpose is to see the success of the interactions for each nucleus and comparing the results with each other. The single-particle energies for *f5pvh* interaction are -10.27 MeV, -9.42 MeV and -9.05 MeV for the $2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$ ve $2p_{1/2}$ orbitals, respectively. The interaction Hamiltonian is defined by a set of 63 two-body matrix elements. For *jun45* interaction, the single-particle energies are -9.83 MeV, -8.71MeV and -7.84 MeV for the $2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$ ve $2p_{1/2}$ orbitals. Although this interaction also includes the $g_{9/2}$ orbit above the $p_{1/2}$, we have not taken into account this orbit for the exact comparison with the former one. The full interaction file contains 334 two-body matrix elements. In the investigation of nuclear shapes, reduced electric quadrupole transition probability (B(E2)) and quadrupole deformation parameter (β_2) are the indicators. The β_2 showing the deformation of the nuclei can be calculated by Eq.2. The neutron and proton effective charges have been taken as $e_n = 0.5e$ and $e_p = 1.5e$, respectively.

$$\beta_2 = \frac{4\pi}{3ZR_0^2} [B(E2)/e^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

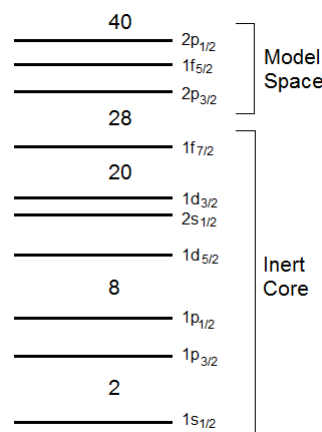


Figure 1. Single-particle levels of nucleons grouped to form model space above the ^{56}Ni core for the calculations

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

Due to the fundamental information about the nuclear structure in even-even nuclei comes from the first two excited states. In Figure 2, we have shown the first 2^+ and 4^+ state energies from SM calculations for the investigated ^{60}Zn , ^{64}Ge , ^{68}Se , ^{72}Kr and ^{76}Sr nuclei ($N=Z$) in comparison with the experimental data [27]. To analyze nuclear structure, these levels have to be known accurately. The first 2^+ energies of nuclei can be used as an indicator of collective behavior. Generally, light nuclei have higher energy values for the first 2^+ state. While the mass numbers of nuclei increase, the 2^+ energy values decrease. Until atomic number 34, this behavior is seen in this work. From our calculations, the results for 2^+ energy values stay nearly constant after atomic number 34 for *jun45* interaction and slightly increase for *f5pvh* interaction. For ^{60}Zn isotope, the first 2^+ excited level energies from different interactions are compatible with the experimental value. However, *f5pvh* gives closer value to the experimental value. For ^{64}Ge isotope, the result from *f5pvh* is still close to the experimental value, but *jun45* gives results far from it. The result of the calculations made using the *f5pvh* interaction and the experimental value is very close to each other for the ^{68}Se isotope, whereas the calculated result by *jun45* interaction is very far from them. For these three isotopes, theoretical results from the both interactions are lower than the experimental values. For ^{72}Kr isotope, the result is still lower than the experimental value for *jun45* interaction, but *f5pvh* gives larger value. For the last investigated $N=Z$ isotope ^{76}Sr , the first 2^+ experimental energy value is very low and not certainly determined in the literature. This corresponds to the deformed shell gap at the nucleon number 38. The theoretical value from *jun45* is closer to this low value. Besides, both theoretical results are seen as larger than the low experimental value.

In the figure, we have also shown the first 4^+ excited state energies for the isotopes under investigation. For ^{60}Zn isotope, the result from *f5pvh* interaction is very close to the experimental value. For ^{64}Ge and ^{68}Se isotopes, *f5pvh* gives almost the same value as the experiment. After these isotopes, *jun45* starts to give results closer to the experimental data. For ^{72}Kr isotope, *jun45* value is very close to the experimental value. However, as in the 2^+ state, results from both theoretical calculations are not compatible with the experiment for ^{76}Sr . Again, the experimental value is ambiguous at this state for ^{76}Sr isotope. However, with the increasing number of valence nucleons, divergence from experimental results is inevitable. Therefore, the difference between the low energy 2^+ and 4^+ levels observed in the collective nuclei is the expected result.

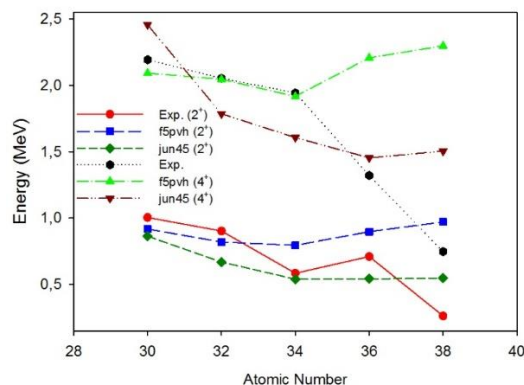


Figure 2. The calculated first 2^+ and 4^+ excited state energies for ^{60}Zn , ^{64}Ge , ^{68}Se , ^{72}Kr , and ^{76}Sr isotopes in comparison with the experimental data [27].

We have also calculated the ratios of 4^+ to 2^+ energies ($R_{4/2}$) for the investigated nuclei (Figure 3). This ratio can take different value as < 2.0 , ~ 2.0 - 2.2 , ~ 2.7 and ~ 3.33 for non-collective, spherical-vibrator, transitional and rigid-rotor structured nuclei, respectively. For ^{60}Zn and ^{64}Ge , both theoretical with *f5pvh* interaction and experimental results are close to each other and they indicate that these nuclei are spherical vibrators whereas according to the calculations with *jun45*, these are transitional. For ^{68}Se , the theoretical result with *jun45* interaction is closer to the experimental value which indicates this nucleus is rigid-rotor. For ^{72}Kr , both theoretical results are far from the experimental value. According to the experimental value, this nucleus can be a spherical vibrator but to the theoretical results, it is transitional. For ^{76}Sr , both theoretical with *jun45* interaction and experimental results are very close to each other. All the results indicate that this nucleus is transitional. Generally, by using *jun45* interaction in the calculations, we have obtained slightly larger values than *f5pvh*.

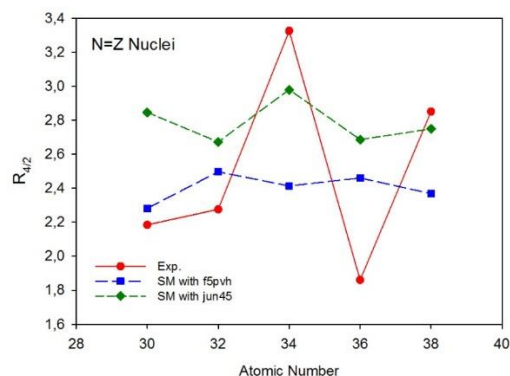


Figure 3. $R_{4/2}$ ratios for ^{60}Zn , ^{64}Ge , ^{68}Se , ^{72}Kr , and ^{76}Sr isotopes in comparison with the experimental data [27].

We have also calculated reduced electric transition probability from the ground state to the first 2^+ state $B(E2)$ which is shown in Figure 4. Both theoretical results are in good agreement for ^{64}Ge and ^{68}Se with the available adopted values in the literature [28]. For ^{60}Zn , there is no adopted value in the literature. For ^{72}Kr and ^{76}Sr , the theoretical results stay nearly constant, but the adopted values start drastically to increase which shows an increase of collectivity. We have also given the $B(E2)$ values from other theoretical models in the figure which are taken from Raman [29]. As is seen in the figure that only HFB+BCS results are in harmony with both SM calculations.

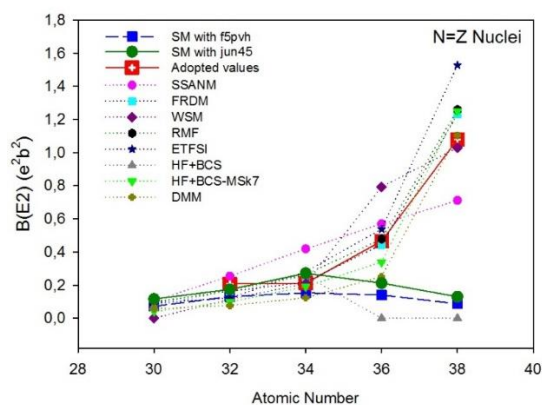


Figure 4. $B(E2)$ values for ^{60}Zn , ^{64}Ge , ^{68}Se , ^{72}Kr , and ^{76}Sr isotopes.

Finally, in Figure 5, we have shown the quadrupole deformation parameters for the nuclei. The positive value of β_2 is related to prolate shape while the negative value of β_2 corresponds to the oblate shape of nuclei. As can be seen in the figure that all the nuclei under investigation have prolate shape. There is no adopted value for ^{60}Zn nuclei in the literature. According to the adopted values, ^{72}Kr and ^{76}Sr are very deformed nuclei, but for both theoretical calculations by $f5pvh$ and $jun45$ interactions, these are less deformed. Additionally, according to the common literature result [30], the ^{68}Se nucleus has an oblate shape.

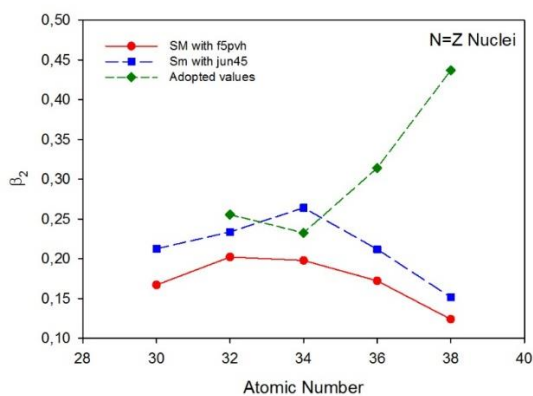


Figure 5. Quadrupole deformation parameters (β_2) for ^{60}Zn , ^{64}Ge , ^{68}Se , ^{72}Kr and ^{76}Sr nuclei

IV. CONCLUSIONS

In this study, nuclear structures of ^{60}Zn , ^{64}Ge , ^{68}Se , ^{72}Kr and ^{76}Sr medium mass $N=Z$ nuclei have been investigated within the nuclear shell model by calculating first 2^+ and 4^+ energies, the ratios between these energies, reduced electric transition probabilities from the ground state to first 2^+ state and quadrupole deformation parameters. KSHELL computer code was used for the calculations on these isotopes with two different two-body interaction Hamiltonians ($f5pvh$ and $jun45$). The results have been compared with each other and the available literature data. For ^{60}Zn , ^{64}Ge , ^{68}Se nuclei, the results from theoretical calculations are in harmony with the literature data. However, with the increasing number of valence nucleons, divergence from experimental results is inevitable. Therefore, the divergence from experimental values for the low energy 2^+ and 4^+ levels observed in the collective nuclei is the expected result. $f5pvh$ interaction generally gives closer results than $jun45$ interaction for these nuclei. Furthermore, the $B(E2)$ values are theoretically calculated in this study whose data do not exist in the literature. In the future, it is planned to extend this work to the heavier $N=Z$ nuclei (^{80}Zr , ^{84}Mo , ^{88}Ru , ^{92}Pd , ^{96}Cd , and ^{100}Sn) in the same shell.

Acknowledgment

This work is supported by the scientific research project fund of Sivas Cumhuriyet University under project number F-616.

REFERENCES

- [1] Bohr, A. and Mottelson, B. R.: Nuclear Structure. (1969). Vol. 1. W.A. Benjamin, New York.
- [2] Greiner, W. and Maruhn J., (1996). Nuclear Models. Springer, Berlin.
- [3] Bayram, T. and Yılmaz, A. H., (2013). Table of Ground State Properties of Nuclei in the RMF Model. *Mod. Phys. Lett. A*, 28(16), 1350068.
- [4] Bayram, T., Akkoyun, S. and Şentürk, Ş., (2018). Adjustment of Non-linear Interaction Parameters for Relativistic Mean Field Approach by Using Artificial Neural Networks. *Phys. At. Nucl.*, 81, 288-295.
- [5] Stoitsov, M. V., Dobaczewski, J., Nazarewicz, W., Pittel, S. and Dean, D. J., (2003). Systematic study of deformed nuclei at the drip lines and beyond. *Phys. Rev. C*, 68, 054312.
- [6] Jenkins, D.G., et al., (2002). $T=0$ and $T=1$ states in the odd-odd $N=Z$ nucleus, ^{70}Br . *Phys. Rev. C*, 65, 064307.
- [7] Mayer, M. G., (1949). On closed shells in nuclei. II. *Phys. Rev.*, 75, 1969-1970.
- [8] Haxel, O., Jensen, J. H. D. and Suess, H. E., (1949). On the Magic Numbers in Nuclear Structure. *Phys. Rev.* 75(11), 1766.
- [9] Mayer, M. G., (1948). On Closed Shells in Nuclei. *Phys. Rev.*, 74, 235.

- [10] Mayer, M. G., (1950). Nuclear Configurations in the Spin-Orbit Coupling Model. I. Empirical Evidence. *Phys. Rev.*, 78, 16.
- [11] Talmi, I., (2005). 55 Years Of The Shell Model: A Challenge To Nuclear Many-Body Theory. *Int. J. Mod. Phys. E*, 14, 821-844.
- [12] Caurier, E., Martínez-Pinedo, G., Nowacki, F., Poves, A. and Zuker, A. P., (2005). The shell model as a unified view of nuclear structure. *Rev. Mod. Phys.*, 77(2), 427-488.
- [13] Brown, B. A., (2001). The Nuclear Shell Model toward the Drip Lines. *Prog. Part. Nucl. Phys.*, 47, 517-599.
- [14] Laouet, N., Benrachi, F., Guerraiche, H. and Benhizia, K., (2019). Study of the shell evolution effect on the nuclei around the ^{78}Ni core structure. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 9, 109–113.
- [15] Shimizu, N., (2013). Nuclear shell-model code for massive parallel computation, KSHELL. *arXiv:1310.5431* [nucl-th].
- [16] Brown, B. A. and Rae, W. D. M., (2014). The Shell-Model Code NuShellX@MSU. *Nucl. Data Sheets*. Vol. 120, pp. 115-118.
- [17] REDSTICK, <http://www.phys.lsu.edu/faculty/cjohnson/redstick.html>
- [18] Calvin, W. J., Erich Ormand, W, McElvain, K. S. and Shan, H., (2018). BIGSTICK: A flexible configuration-interaction shell-model code. *arXiv:1801.08432v1* [physics.comp-ph].
- [19] Caurier, E. and Nowacki, F., (1999). Present Status of Shell Model Techniques. *Acta Phys. Pol. B*, 30, 705-714.
- [20] Brown, B.A., et al., Oxbash for Windows. MSU_NSCL report number 1289.
- [21] Nabi, J.-U., Böyükata, M., (2016). β -Decay half-lives and nuclear structure of exotic proton-rich waiting point nuclei under rp-process. *Nucl. Phys. A*, 947,182–202.
- [22] Yamagami, M., Matsuyanagi, K., Matsuo, M., (2001). Symmetry-unrestricted Skyrme–Hartree–Fock–Bogoliubov calculations for exotic shapes in $N=Z$ nuclei from ^{64}Ge to ^{84}Mo . *Nucl. Phys. A*, 693, 579–602.
- [23] Kaneko, K., Hasegawa, M. and Mizusaki, T., (2014). Shape transition and oblate-prolate coexistence in $N=Z$ fpg-shell nuclei. *Phys. Rev. C*, 70, 051301.
- [24] Drumev, K., (2018). Shell-model calculations for upper pf-shell nuclei with an effective interaction. *EPJ Web of Conferences*, 194, 01006.
- [25] Honma, M, Otsuka, T., Mizusaki, T., and Jensen M. H., (2009). New effective interaction for f5pg₉-shell nuclei. *Phys. Rev. C*, 80, 064323.
- [26] Van Hienen, J.F.A., et al., (1976). Shell-Model Calculations For The Zinc Isotopes. *Nucl. Phys. A*, 269, 159-188.
- [27] Kinsey, R.R., et al., (1996). The NUDAT/PCNUDAT Program for Nuclear Data, paper submitted to the 9th International Symposium of Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics, Budapest, Hungary, October 1996. Data extracted from the NUDAT database, 2.8 (01.April.2020).
- [28] Pritychenko, B., et al., (2016). Tables of E2 transition probabilities from the first 2+ states in even–even nuclei. *At. Data. Nucl. Data Tables*, 107, 1–139.
- [29] Raman, S., N, Nestor, JR C. W. and Tikkanen, P., (2001). Transition probability from the ground to the first-excited 2+ state of even–even nuclides. *At. Data. Nucl. Data Tables*, 78, 1–128.
- [30] Takami, S., Yabana, K. and Matsuo, M., (1998). Tetrahedral and triangular deformations of $Z=N$ nuclei in mass region $A\sim 60\text{--}80$. *Phys. Lett. B*, 431, 242-248.

Nikel Kaplanmış Alüminyum Levhaların Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi

Investigation of Joinability of Nickel Coated Aluminum Sheets with Friction Stir Spot Welding

Murathan KALENDER¹ , Halil ULUPINAR¹ , Yahya BOZKURT¹ 

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

Öz

Endüstride üretilen ürünlerin üzerinde çok çeşitli kaynaklı birleştirmeler yapılabilmektedir. Klasik ergitme kaynak yöntemlerinde oluşan sıcaklığa bağlı olarak kaynak bölgesinde gözenek, sıcak çatlak, yüksek ısı girdisi nedeniyle çarpılma ve kimyasal element kaybı gibi problemler meydana gelmektedir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında bu hatalar elimine edildiğinden dolayı farklı malzemelerin birleştirme işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Yöntem ile hem aynı cins hem de farklı malzeme kombinasyonlarında kaynak yapmak mümkündür. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, birçok avantajı nedeniyle, otomotiv ve havacılık sektörleri dâhil olmak üzere çeşitli endüstrilerden büyük ilgi görmüş olan bir katı hal kaynak prosesisidir. Al, Cu, Mg ve polietilen gibi malzemelerin kaynağı bu kaynak yöntemi ile sorunsuz bir şekilde yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, nikel kaplanmış ve kaplanmamış AA2024-T3 levhalar sabit kaynak parametreleri kullanılarak sürtünme karıştırma nokta kaynak tekniği ile birleştirilmiştir. Elde edilen mekanik ve mikroyapısal deneyler sonucunda birleştirilen parçaların mekanik özellikleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, kaynak teknolojileri, nikel, sürtünme karıştırma nokta kaynağı.

Abstract

Various welded joints can be made on the products manufactured in the industry. Depending on the temperature formed in conventional melting welding methods, problems such as pore, hot crack, distortion and chemical element loss occur due to high heat input. Since these faults are eliminated in the friction stir spot welding, they are frequently used in the joining processes of different materials. With the method, it is possible to weld both the same type and different material combinations. Friction stir spot welding is a solid state welding process, which has attracted great attention from various industries, including the automotive and aerospace industries, due to its many advantages. Welding of materials such as Al, Cu, Mg and polyethylene can be made without any problem with this welding method.

In this study, nickel-coated and uncoated AA2024-T3 plates were combined with the friction stir spot welding technique using fixed welding parameters. The mechanical properties of the assembled parts were evaluated as a result of the obtained mechanical and microstructural experiments.

Keywords: Aluminium, welding technologies, nickel, friction stir spot welding.

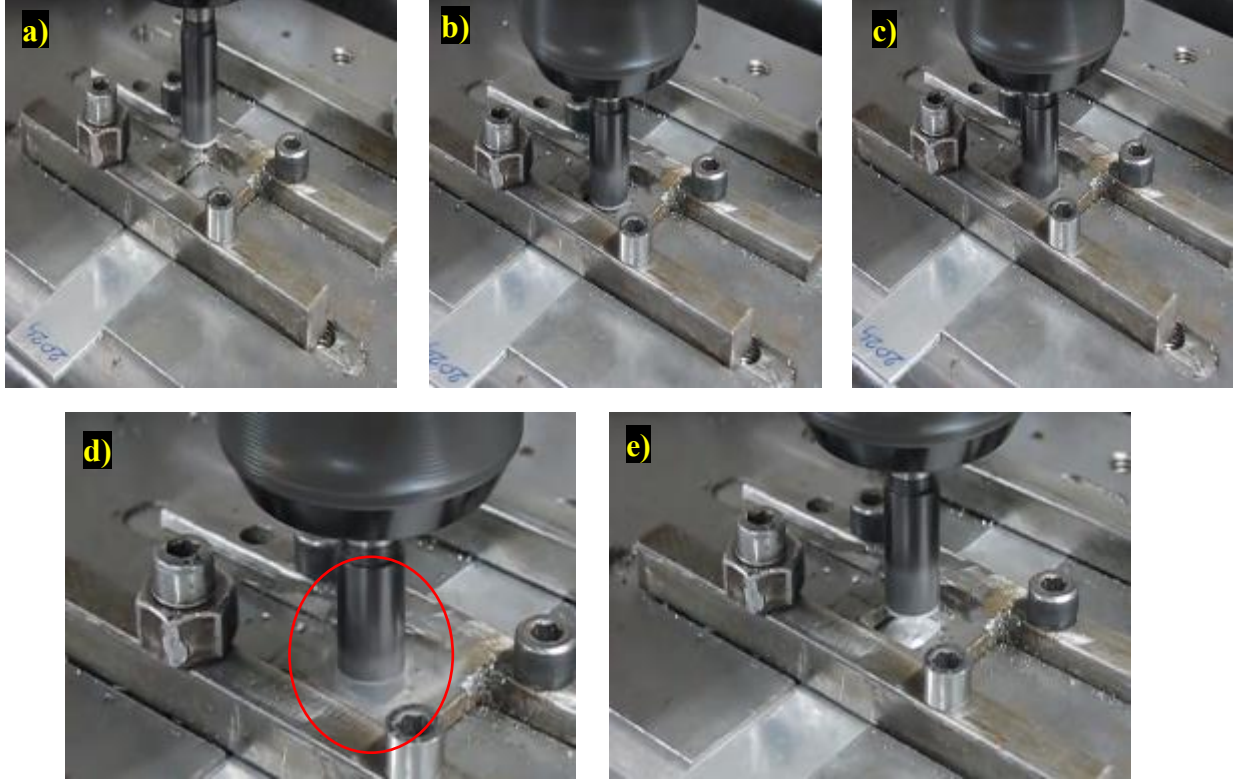
I. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde en çok araştırma ve geliştirme çalışmaları, ağırlığı hafif ve mekanik özellikleri yüksek malzemeler üretmek üzerinedir. Otomotiv sektörü, hassas cihazların imalatı, uzay ve uçak teknolojileri, çelik yapılar, çelik eşya imalatı, boru üretimi, makine sektörü ve elektroteknik gibi pek çok alanda kullanılan metal malzemelerin kaynağında yaşanan sorunlar, farklı kaynak türlerinin gelişimini sağlamıştır. Ayrıca, bu sektörlerde kullanılacak malzemelerde istenilen hafiflik ve yüksek dayanım özelliği, sandviç (en az 3 katmanlı) malzemelerin geliştirilmesini sağlamıştır. Her katmanda farklı çeşitlerde kullanılan malzemeler hem hafiflik hem de kaynaklanabilirlik açısından olumlu sonuçlar vermektedir. Geliştirilen bu malzemelerin ve yapıların birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemleri daha etkili olmuştur. Katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme karıştırma kaynağından türeyen sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemidir. Elektrik direnç nokta kaynağına (EDNK) alternatif olarak geliştirilen ve sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi temel alınarak geliştirilen SKNK yöntemi, kaynak teknolojisi konusunda karşımıza çıkan en son gelişmelerden birisidir. Yöntem, nokta sürtünme kaynağı veya sürtünme nokta birleştirmesi olarak da adlandırılmaktadır [1].

SKNK düşük maliyetli ve yüksek performans göstermesini isteyen bağlantılar için ideal bir yöntemdir. SKNK ile

çelik, alüminyum, bakır, nikel, titanyum, polietilen vb. malzemelerin birleştirilmesi yapılabilmektedir. Metalik malzemeler ergitilmeden, malzemelerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta malzeme katı haldeyken kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir [2].

SKNK prensibi, omuz ve karıştırıcı uç (takım) dahil



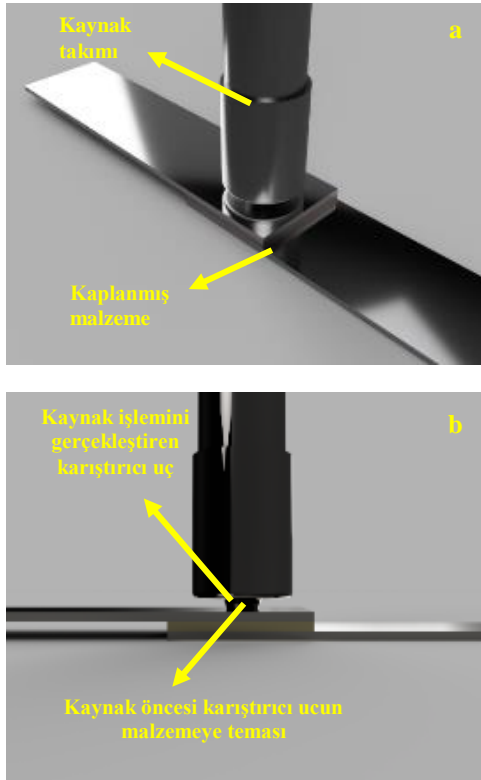
Şekil 1. SKNK basamakları; a) SKNK öncesi, b) SKNK öncesi temas halindeki karıştırıcı uç, c) Omuzun malzeme yüzeyine temasla ısı oluşturmaya, d) Katı hal birleşme, e) İşlemin sonlanması ve kaynak takımının geri çekilmesi [3]

Al-Fe gibi benzer olmayan iki metalin klasik nokta kaynak yöntemleriyle birleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Al, Sn, Zn, Zn-Pb alaşımlı kaplanmış çeliklerin EDNK ile birleştirilmesinde özel kaynak ekipmanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. SKNK yönteminin büyük benzerlikler gösterdiği EDNK' dan daha az teçhizat maliyeti ve çok düşük enerji tüketimi gerektiği için ekonomik avantaj sağlamaktadır [4].

SKNK'nın diğer geleneksel kaynak yöntemlerine göre avantajlarını metalurjik, çevresel ve enerji olmak üzere üç ana grupta inceleyebiliriz. SKNK yöntemi katı fazda gerçekleştiğinden dolayı kaynak bölgesindeki malzemeye metalurjik olarak hasar vermez. Fakat, bazı alaşımların ergitmeli birleştirilmelerinde kalitesinde büyük sorunlar meydana gelmektedir. Klasik ergitme kaynak yöntemlerinde oluşan sıcaklığa bağlı olarak kaynak bölgesinde gözenek, sıcak çatlak, yüksek ısı girdisi nedeniyle çarpılma ve kimyasal element kaybı gibi problemler meydana gelmektedir [5].

olmak üzere iki parçadan oluşan ergimeyen bir karıştırıcı yardımıyla takımın parça üzerinde nokta birleştirme işlemi yapmasıdır. SKNK işlemi, farklı hızlara sahip dönen takımın levhalar arasına daldırılması, ısı ve basınç yardımıyla nokta kaynak işleminin gerçekleştirilmesidir. Şekil 1'de SKNK işlem basamakları gösterilmektedir [3].

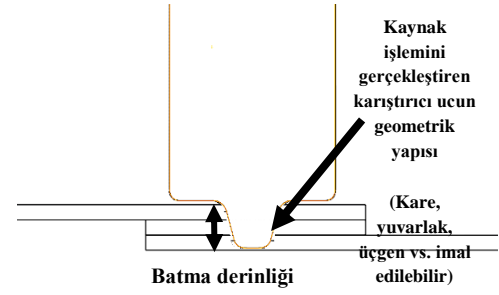
İşlem sırasında sıcaklığın diğer kaynak yöntemlerine göre daha az olması, iş parçasındaki burulmaları en aza indirmektedir. Bu yöntem, iyi bir boyutsal kararlılık ve tekrar edilebilirlik özelliğine sahip olmasının yanı sıra alaşım elementleri üzerinde kayıplar oluşmamaktadır. SKNK sonrasında birleşim bölgesi ince taneli mikroyapıya sahip olduğundan bu bölge mükemmel metalurjik özelliklere sahiptir. Isı girdisi nedeniyle iş parçasında çatlak oluşmaz. Çevresel ve enerji avantajlarına bakıldığında; gaz altı kaynaklarındaki gibi koruyucu gaza gerek yoktur. Ayrıca alüminyum sacların EDNK işleminde bazı büyük problemler meydana gelmektedir. Bu problemlerin başında; çatlaklar, porozite, sıçramalar ve kaynak elektrot aşınması gelmektedir [6-7]. SKNK işlemi sonrasında sıçrama olmadığından yüzey temizliğine gerek kalmaz ve taşlama atıkları oluşmaz. SKNK yöntemiyle gelişmiş malzemelerde birleştirme yapılırken bu malzemelerin hafif olmasında büyük rol alır. Şekil 2'de sandviç levhaların SKNK ile kaynak işleminin şematik hali görülmektedir.



Şekil 2. SKNK işleminde 3 boyutlu şematik görünümü, a) İzometrik görünüş, b) Önden görünüş

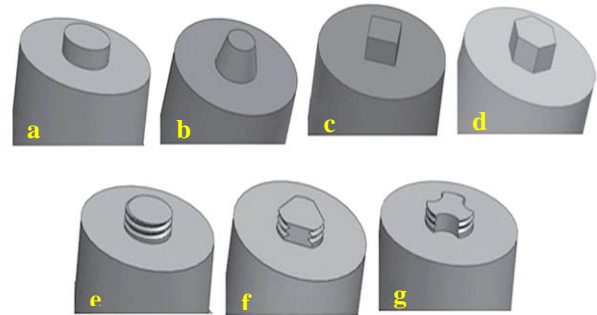
SKNK yöntemi homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamaktadır. Takımın omuz ve karıştırıcı ucunun aşınması ve kırılması, takım malzemesinin seçimi için ciddi bir sınırlama getirmektedir. SKNK sonucunda, takımlar işlem sırasında ulaşılan sıcaklıklarda yüksek mekanik dirence sahip olmalıdır. Bununla beraber aşınma ve oksitlenmeye karşı direnç sağlayabilmelidir. SKNK işlemlerinde sıcaklığın tipik olarak işlenmiş malzeme için, ergime sıcaklığının yaklaşık % 80 oranına ulaştığı gözlemlenmiştir [8]. Bununla birlikte, ana metalde oluşan sıcaklıkla birlikte takım içindeki sıcaklık önemli bir değişkendir.

Takım omzu sürtünme veya deformasyon ısısının büyük bir kısmını oluşturur; karıştırıcı uç iş parçaları arasındaki malzeme akışına yardımcı olur. Takımın profili ve geometrisinin yanı sıra SKNK'da yer alan diğer parametreler; takım dönme hızı, dalma (daldırma) derinliği ve bekleme süresidir. Bu proses parametreleri kaynaklı birleştirmenin dayanımını ve yüzey kalitesini belirler. SKNK'dan sonra karışım bölgesinde farklı mikroyapısal bölgeler görülür. Şekil 3' de SKNK işleminde kullanılan takımın örnek geometrisi ve batma derinliği şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. SKNK işleminde kullanılan takımın örnek bir geometrisi ve batma derinliğinin şematik olarak gösterimi

Kullanımı zamanla artan SKNK yönteminin uygulama alanları da gün geçtikçe artmaktadır. SKNK yönteminin ihtiyaçlara cevap verebilecek şekilde gelişmesini sağlayabilmek için de kaynak sırasında kullanılan alet, donanım ve makinelerinde geliştirilmesi gerekmektedir [9]. Kaynak işleminde kullanılan fişür, takım ve karıştırıcı uç geometrisinin, kaynak kalitesine ve mekanik özelliklerine doğrudan etki ettiği daha önceki çalışmalarda görülmüştür [10-11]. SKNK uygulamalarında kaynak edilecek malzemenin cinsine bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda aşınma direncine sahip takımlar kullanılmaktadır. Önceki çalışmalarda Al ve Al alaşımları için kullanıldığında alaşımsız çeliklerden yapılmış takımlar ile iyi sonuçlar alınmıştır. Ancak ısı işlem görmüş bazı Al türlerinde kullanıldığında takımın aşınmasına ve kısa sürede kırılmasına neden olmuştur. Zaman içinde alaşımsız çelik takımlar yerini alaşımli çelik takımlara bırakmıştır [12]. SKNK prosesinde kullanılan takımlar, takım omuz ve karıştırıcı uç geometrisine göre farklı yapılarda olabilmektedirler [13]. SKNK yönteminde kullanılan bazı takım omuz yapıları Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Farklı karıştırıcı uç geometrileri: (a) silindirik, (b) konik silindirik, (c) kare, (d) altıgen, (e) dişli silindirik, (f) dişli üçgen, and (g) dişli üç köşeli yıldız [13]

Son yıllarda otomotiv sektöründe genellikle kullanılan çelik sacların yerine daha hafif alaşımların kullanılması yönünde önemli kararlar alınmaktadır. Otomobil gövde yapımında ve kapalı panellerde; bagaj kapağı, motor kapağı gibi arabanın birçok bölgesinde alüminyum alaşımı saclar ya da daha ince kesitlerde yüksek mukavemetli çelik saclar kullanılarak gövde ağırlığı azaltılmıştır. Ağırlığın azaltılması otomotiv endüstrisinde önemli yakıt tasarrufları sağlamaktadır [14]. Yöntemin olumlu özellikleri dikkate alındığında SKNK yönteminin endüstride uygulama alanı bulması oldukça kolay bir hale gelmiştir. SKNK tekniğinin yaygın kullanım alanları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. SKNK tekniğinin yaygın kullanım alanları [15-17]

Endüstri Alanı	Uygulama Alanı
Denizcilik Endüstrisi	Güverte için paneller, yan yüzler, bölme ve zeminlerde, alüminyum ekstrüzyonlarında, gemi bölmelerinde, gemi omurga ve üst yapılarında, helikopter merdiven platformlarında, kamaralarda, denizcilik yapılarında, yelkenli gemi için; gemi direk ve zincirlerinde, soğutma tesislerinde, gemi iskeletleri, güverteler ve yüksek hızda gemiler için enerji verimliliği ve hafiflik için iç tasarımlarda uygulanmaktadır.
Havacılık Endüstrisi	Kanatlar, uçak gövdesi ve kuyruk kısımlarında, uzay araçları için kriyojenik yakıt tanklarında, havacılık yakıt tanklarında, askeri uçaklar için dış atık tanklarında, askeri ve araştırma roketlerinde, hatalı MIG kaynaklarının düzeltilmesinde ve özel alaşımlı yüzeylerin bağlantı kısımlarında kullanılmaktadır.
Demiryolu Endüstrisi	Yüksek hızda trenlerin imalinde, demiryolu araçları, yeraltı taşımacılığı ve tramvaylarda, demiryolu tankları ve yük vagonlarında, konteyner iskeletlerinde, vagon ve vagon şasisi ile yüksek hızda trenler için karoserlerde uygulanmaktadır.

Kara Taşımacılığı	Motor ve şasi yataklarında, tekerlek jantı imalinde, uygun hale getirilmiş boşluklar v.b. farklı levha kalınlıklarının kaynağında, kamyon iskeletlerinde, kamyonetlerin arka kaldıraçlarında, hareketli vinç imalinde, kaportası zırlı araç imalinde, yakıt tanklarında, karavanlarda, otobüs taşımacılığında, motosiklet ve bisiklet gövdelerinde, asansörlerde, Al otomobillerin tamirinde, ayrıca alüminyum esaslı arabalarda iç panellerinin üretiminde uygulanmaktadır.
Yapı-inşaa Endüstrisi	Alüminyum köprüler, Al, Cu ya da Ti' den yapılmış binanın ön yüz panellerinde, pencere iskeletlerinde, alüminyum boru hatlarında, enerji santrali ve kimya endüstrisi için Al reaktörlerde, ısı değiştirici ve klimalarda, boru üretiminde uygulanabilmektedir.
Elektrik Endüstrisi	Elektrikli motor çerçevesinde, elektrik bağlama çubuklarında, elektrikli bağlantılarda, elektronik sargılarda kullanılmaktadır.
Diğer Endüstri Sektörleri	Soğutma panelleri, açılış ekipmanları ve mutfaklarda, beyaz eşyalarda, gaz tankları ve gaz silindirelerinde, un değirmenlerindeki bakır ya da alüminyum bobin bağlantılarındaki uygulamalarda kullanılmaktadır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzemeler

Yapılan çalışmada, SKNK işlemi için 1,6 mm kalınlığında kaplanmamış AA2024-T3 alüminyum alaşımı levha ve Ni kaplı AA2024-T3 alüminyum alaşımı levha kullanılmıştır. AA2024-T3 alüminyum ve Ni alaşımının ve kimyasal bileşimi Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Alüminyum levhalar 25x100 mm boyutlarında ve Ni levhalar 25x25 mm boylarında kesilmiştir. Levha üzerine uygulanan kaynak bölgesi 25x25 mm olarak belirlenmiştir. SKNK işlemi yapılan freze makinasında SKNK esnası Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 2. AA2024-T3 alüminyum alaşımının mekanik ve kimyasal özellikleri [18]

Malzeme	Mekanik Özellikler		Kimyasal Bileşim (Ağırlıkça %)								
	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
AA2024-T3	435	17	93.11	0.07	0.14	4.5	0.65	1.5	0.01	0.02	-

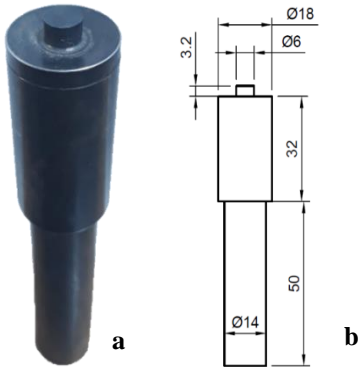
Tablo 3. Nikel alaşımının kimyasal kompozisyonu [18]

Malzeme	Kimyasal Bileşim (Ağırlıkça %)					
	Ni	Fe	Cu	S	O	Co
Ni	29,23	34,58	10,84	19,05	4,56	0,48

**Şekil 5.** a) SKNK işlemi öncesi parçaların fikstüre sabitlenmesi, b) SKNK uygulaması, c) SKNK sonrası birleşen numuneler

2.2. SKNK İşlemi ve Kaynak Parametreleri

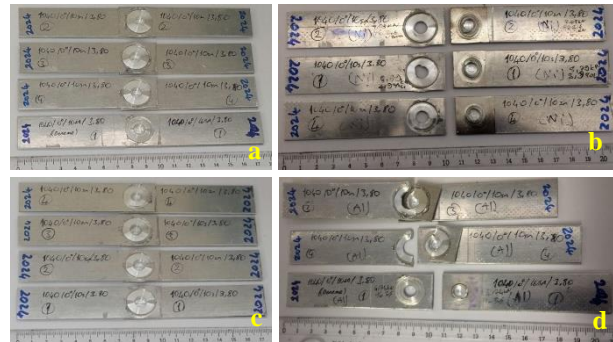
SKNK işleminde Alüminyum Titanyum Nitrat (AlTiN) kaplı takım kullanılmıştır. Bu takım 1.2344 kalite sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiştir. SKNK takımının omuz çapı 18 mm, karıştırıcı uç çapı 6 mm olarak imal edilmiştir. Kullanılan takım ve ölçüleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Birleştirme işlemi, takımın saat yönünde döndürülmesiyle gerçekleştirilmiş olup kaynak işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. SKNK işleminde takım dönme hızı 1040 dev/dak. olarak sabitlenmiştir. Takımın kaynak bölgesindeki süresi 10s olarak belirlenmiştir.

**Şekil 6.** a) SKNK işleminde kullanılan takım, b) SKNK işleminde kullanılan takımın ölçüleri

2.3. Çekme Makaslama Deneyi

Birleştirilmiş AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 ve AA2024-T3/AA2024-T3 deney numuneleri ASTM-D638 standartına göre test edilmiştir. Çekme deneyi Zwick Z010 model çekme test cihazında gerçekleştirilmiş olup Şekil 7' de gösterilmiştir. Çekme testi oda sıcaklığında ve 5 mm/s'lik sabit çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Her parametre için çekme-

makaslama testi sonucu alınıp ortalamalar belirlenmiştir. Çekme testi uygulanmış numuneler Şekil 8'de gösterilmiştir.

**Şekil 7.** a) Zwick Z010 model çekme test cihazı, b) Makine çenesine bağlanmış test numunesi**Şekil 8.** a) Test öncesi AA2024/Ni/AA2024 numuneleri, b) Test sonrası AA2024/Ni/AA2024 numuneleri, c) Test öncesi AA2024/AA2024 numuneleri, d) Test sonrası AA2024/AA2024 numuneleri

2.4. Mikroyapı

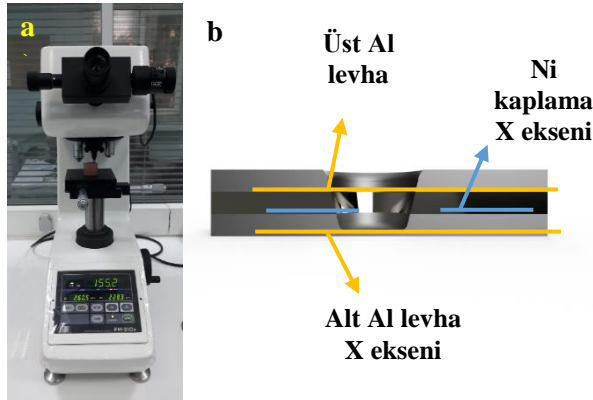
Hazırlanan kaynak numunelerinin kaynak bölgesi üzerinden Buehler Abrasimet 2 cihazı ile uygun kesitte parçalar kesilmiştir. Kesilen parçalara bakalitleme işleminden sonra metalografik işlemler uygulanmıştır. Dağlama reaktifi olarak Keller reaktifi kullanılmıştır. Mikroyapı görüntüleri Olympus BX61M model mikroskop cihazından alınmıştır. Metalografik işlemlerde kullanılan numune kesim cihazı ve mikroskop cihazı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. a) Numune kesme işlemi yapılan Buehler Abrasimet 2 cihazı, b) Mikroyapı görüntüleri alınan Olympus BX61M model mikroskop cihazı

2.5. Mikrosertlik

Mikrosertlik deneyleri için, Şekil 10a' daki FM-310e marka mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Şekil 10b'de gösterildiği gibi SKNK kesitinden kesilen numunelerden, alt ve üst bölgelerden x hattı boyunca her iki yönde olmak üzere 1'er mm aralıklarla ölçüm alınmıştır. Mikrosertlik ölçümleri 10 s'lik bir süre ve 200 gr yük parametrelerinde alınmıştır.



Şekil 10. a) Kullanılan FM-310e marka mikrosertlik cihazı, b) Numune üzerinde sertlik alınan x eksenli bölgeleri

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

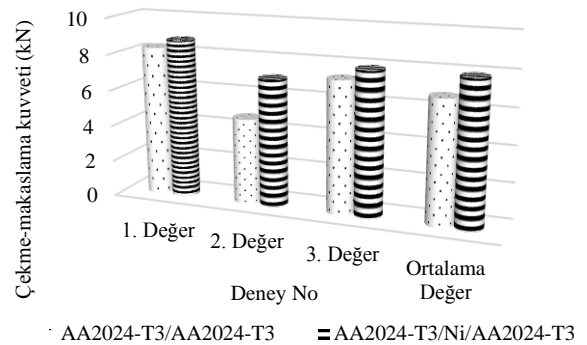
3.1. Çekme Makaslama Deneyi Sonuçları

SKNK işlemi sonucu yapılan çekme-makaslama testlerine bakıldığında optimum çekme kuvvetinin karıştırıcı ucun 2.8 mm derinliğe kadar daldırıldığı numunelerde olduğu görülmektedir. Dalma derinliği 2.8 mm'nin daha üstündeki bir değer ile birleştirilen

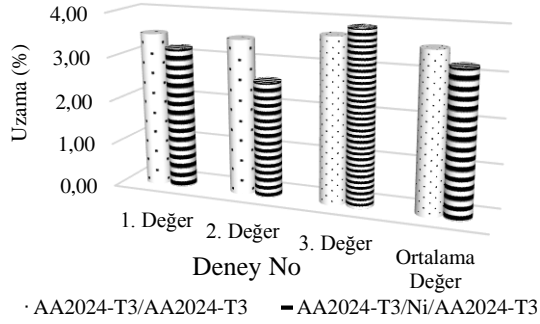
numunelerde mukavemet değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni birleştirilen bölgenin altında kalan metal kalınlığının incelmesidir. Çekme-makaslama kuvvetini etkileyen diğer faktörlerden biri de kullanılan karıştırıcı ucun uzunluğu ve profilidir. Karıştırıcı ucun profili birleştirilen bölgedeki malzeme akışını doğrudan etkilemektedir. SKNK işlemi sırasındaki karıştırıcı uç uzunluğu ve dalma derinliği de malzeme akışını etkileyecektir. Ayrıca bu parametreler ısı oluşumunu etkileyerek kaynak dayanımını belirlemektedir [19]. SKNK yöntemi ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama deneyi sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. Sonuçlar, Şekil 11 ve Şekil 12'de grafik olarak verilmiştir. Numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Ara malzeme ilavesiz (kaplama olmadan) birleştirilen numunenin ortalama çekme-makaslama kuvveti 6,78 kN ve % uzama değeri % 3,56 olarak görülmüştür. Ni kaplanmış numunenin ortalama çekme-makaslama kuvveti 7,91 kN ve % uzama değeri %3,23 olarak belirlenmiştir. Karıştırıcı ucun etki ettiği gerilim sonucunda ısı ve karıştırma etkisinde kalan bölgeye doğru gidildikçe sertlikte artış elde edilmiştir. Bu sertlik artışının alüminyum ve kaplama ile etkileşiminden ve dinamik yeniden kristalleşmeyle oluşan ince taneli yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir [20]. Ayrıca Al-Ni sisteminde kararlı yapılar, en yüksek ergime noktasına, oldukça düşük yoğunluğa, iyi mukavemet özelliklerine ve yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksidasyon direncine sahiptirler [21].

Tablo 4. Çekme makaslama deneyi sonuçları

Deney No	AA2024-T3/AA2024-T3	AA2024-T3/Ni/AA2024-T3	AA2024-T3/AA2024-T3	AA2024-T3/Ni/AA2024-T3
	Çekme-makaslama kuvveti (kN)		Uzama (%)	
1	8.31	8.79	3.7	3.9
2	7.30	7.91	3.5	3.2
3	4.74	7.03	3.5	2.6
Ortalama	6.78	7.91	3.56	3.23



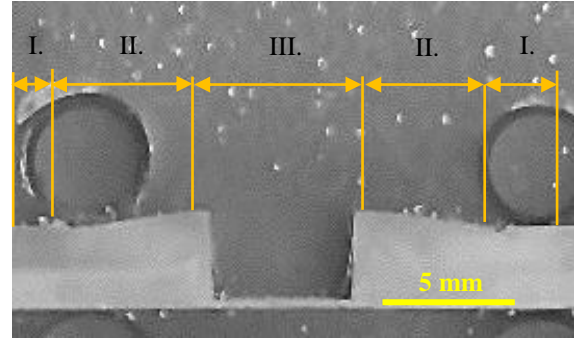
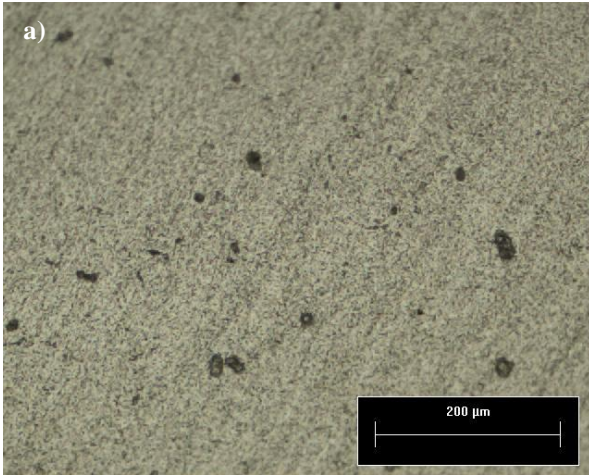
Şekil 11. AA2024-T3/AA2024-T3 ve AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 çifti için çekme makaslama deneyi yük değerleri



Şekil 12. AA2024-T3/AA2024-T3 ve AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 çifti için uzama değerleri

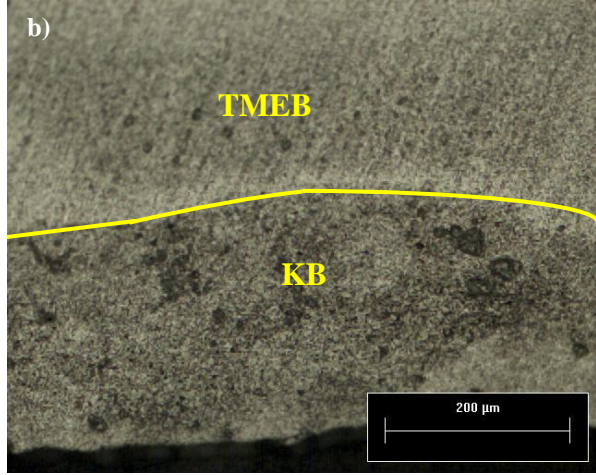
3.2. Mikroyapı Sonuçları

Birleştirmenin merkezinde bulunan kaynak bölgesinin boyutu, kullanılan kaynak takımının geometrisine bağlı olarak değişmektedir. SKNK ile birleştirilmiş parçalarda, karışım bölgesi (KB), termo-mekanik olarak etkilenen bölge (TMEB), ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana metal bölgesi olarak toplamda dört bölge bulunmaktadır. Şekil 13'te görüldüğü I. bölge ITAB'ı, II. bölge TMEB'i ve III. bölge KB'yi göstermektedir. Bu farklı bölgelerdeki mikro yapı değişimleri kaynak sonrası mekanik özelliklere önemli etkiler yapmaktadır.



Şekil 13. SKNK ile birleştirilmiş parçalarda oluşan bölgeler

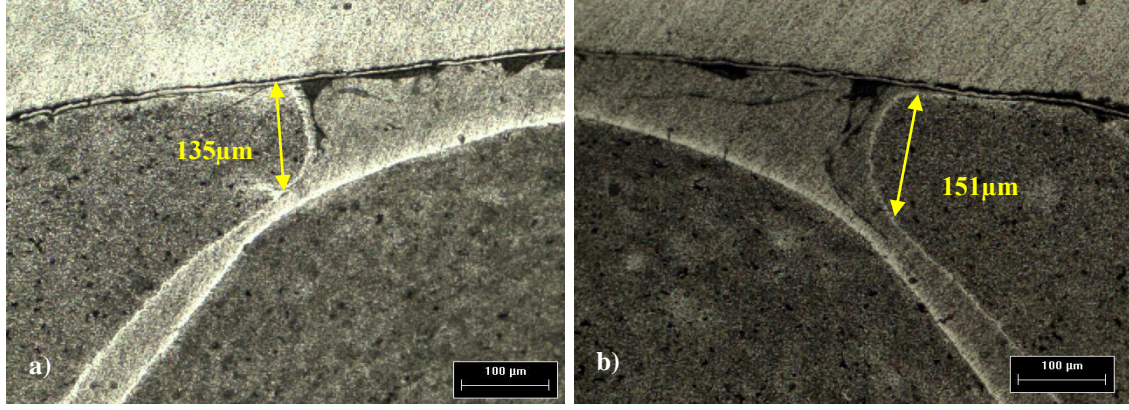
TMEB'de sıcaklık kaynak bölgesine göre daha düşük olduğundan burada gerilme düşüktür fakat deformasyon yüksektir. ITAB, kaynak esnasında termal bir çevrime maruz kalmakta fakat, deformasyon görülmemektedir. Buradaki sıcaklık TMEB'den daha düşüktür ancak kaynak esnasında oluşan kararsız mikroyapılar kaynağın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu TMEB yoğun plastik deformasyon ve yüksek sıcaklık yeniden kristalleşmeye sebep olmaktadır [22]. Kaynak öncesi ve sonrasındaki mikroyapılar Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. a) Ana metal bölgesinin kaynak öncesi mikroskoptaki 100x büyütmedeki görüntüsü, b) KB/TMEB bölgesinin kaynak sonrası mikroskoptaki 100x büyütmedeki görüntüsü

Y.C.Waterloo yaptığı çalışmada, farklı takım dönme hızları altında yapılan kaynaklar arasında kanca yüksekliği arasında bir fark olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, takımın dönme hızı azaldığında, kanca yüksekliğinin arttığını, böylelikle üst ve alt levhalar arasındaki mekanik kilitlemenin, daha yüksek bir

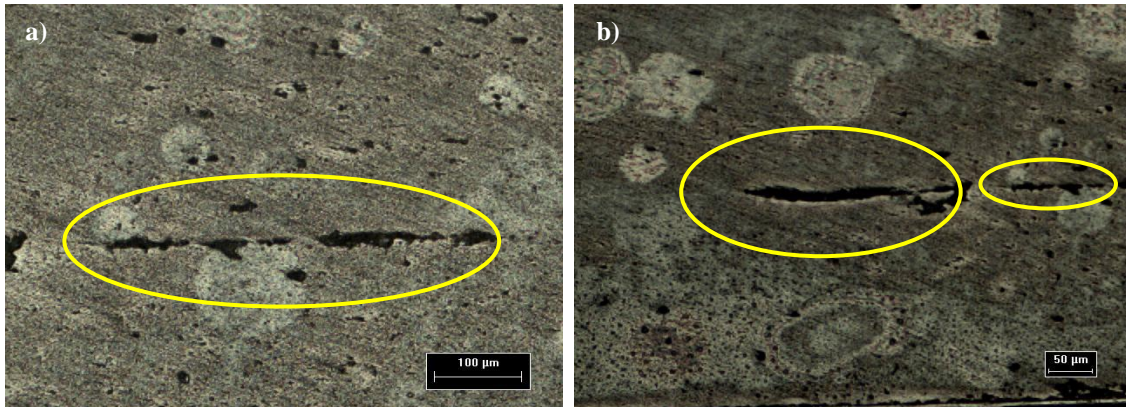
takım dönme hızı altında yapılan birleştirmedeki kancanınkinden daha mukavemetlidir. Şekil 15'e bakıldığında kanca boylarının 135 µm ve 151µm olduğu belirlenmiştir. Bu durum ana ve ara metallerin birbirlerine tutunmasını arttırmış olup mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir [23].



Şekil 15. Kanca bölgesinin 100x büyütmedeki görüntüsü, a) KB' nin solundaki (takım ilerleme yönünün tersi) ITAB bölgesinde kanca oluşumu, b) Sağ (takım ilerleme yönü) ITAB bölgesinde kanca oluşumu

Tane boyutu önemli bir mikroyapı parametresidir ki bu parametre çatlak büyümesini etkileyebilir. Özellikle korozif bir ortamda karışım bölgesindeki tane boyutu değişimi önemlidir. SKNK sırasında dinamik olarak yeniden kristalleşmenin karışım bölgesinde eş boyutlara sahip ince taneler meydana getirdiği kabul edilmektedir. SKNK parametreleri, takım geometrisi, iş

parçasının bileşimi, iş parçasının sıcaklığı, basınç ve aktif soğumanın SKNK malzemelerinde yeniden kristalleşmiş tanelerin boyutuna önemli bir tesiri olmaktadır. AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 malzeme çiftinin SKNK sonrası oluşan mikroyapı ve soğuma sırasında oluşan mikro çatlaklar Şekil 16'da gösterilmiştir [24].



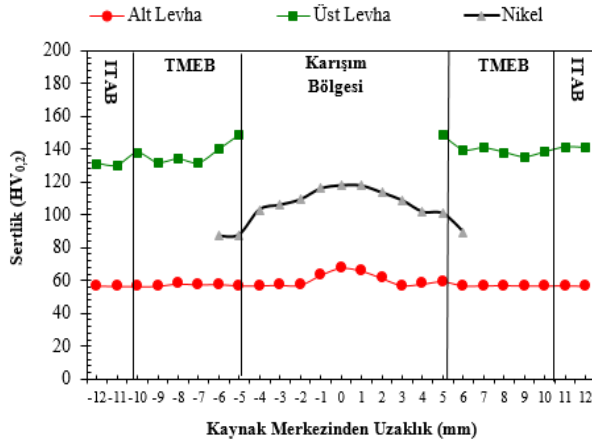
Şekil 16. a) Çatlak olan bölgenin mikroskoptaki 100x büyütmedeki görüntüsü, b) Birleşmeme hatası olan bölgenin mikroskoptaki 50x büyütmedeki görüntüsü

3.3. Mikrosertlik Sonuçları

Al alaşımları ana hatlarıyla, çökeltme sertleşmesi alaşımları ve katı çözünme sertleşmesi, alaşımları içerisinde sınıflandırılırlar. SKK, genellikle çökeltme sertleşmesi yapılmış Al alaşımlarındaki KB civarında yumuşatılmış bir bölge meydana getirir. Kaynağın ısı dönüşümü esnasında, çökeltme sertleşmesi ile tane büyümesi ya da çözünmesiyle böyle bir yumuşak bölgeye sebebiyet verir. Burada kaynaklanan metalin tokluğu da artmaktadır. Mustafa ve Mithat'ın yaptığı çalışmada ERNiCrMo3 ilave metali ile birleştirilen numunenin darbe tokluk değerleri test sıcaklığına bağlı olarak nikelsiz yapılan kaynağın değerlerinden daha yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir [25].

SKNK sonrası Al levhalara baktığımızda kaynak bölgesinde ölçülen değere göre kısmen bir yumuşama görülmüştür. ITAB ve TMEB bölgelerinde ise 60-65

HV değerlerinde sertlik ölçülmüştür. Bu değer, o bölgede sıcaklıktan dolayı tane boyutunun arttığını ve Al levhanın kısmen yumuşadığını göstermektedir. Nikel, alt ve üst Al levhanın sertlik değer grafiği Şekil 17'de gösterilmiştir. Alt levhadaki sertliğin üst levhaya göre daha düşük olmasının nedeni, parçaların birleştirilmesi sırasında yüksek basınçtan kaynaklanan ısı girişi nedeniyle yumuşamasıdır. Kontrolsüz çökeltme sonucu ikincil faz partiküllerinin irileşmesi ve tane sınırlarında kararlı fazlarının oluşması neticesinde, diğer numunelere nazaran önemli bir sertlik düşüşü meydana gelmiştir. Bu yumuşama mukavemet artırıcı çöktürlerin çözülmesine ve/veya kabalaşmasına neden olmaktadır [26]. Kaynak arayüzeyinde oluşan Ni_3Al matris alaşımının tane boyutundan çok daha küçük tane boyutuna sahip bir dinamik yeniden kristalleşme bölgesi oluşmuş olup sertlik artışı meydana gelmiştir [21].



Şekil 17. SKNK sonrası Al levhaların Ni kaplama bölgesi ile alt ve üst bölgelerinin mikrosertlik grafiği

IV. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, Ni kaplı ve kaplanmamış AA-2024-T3 alaşım levhalar SKNK yöntemiyle birleştirilmiştir. Maksimum ve minimum çekme makaslama kuvvetleri belirlenmiştir. Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Ni kaplanmış alüminyum ve kaplanmamış alüminyum levhaların SKNK işlemi başarılı olarak gerçekleştirilmiştir.
2. Çalışmadan elde edilen verilere göre, Ni, metalinin alüminyum metalin kaynaklanabilirliği üzerinde çekme-makaslama kuvvetini artırıcı özellikler gösterdiği bulunmuştur.
3. Numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Ara malzeme ilavesiz birleştirilen numunenin ortalama çekme-makaslama kuvveti 6,78 kN ve % uzama değeri % 3,56 olarak görülmüştür. Ni kaplı birleştirmenin ortalama çekme-makaslama kuvveti 7,91 kN ve uzama değeri %3,23 olarak belirlenmiştir.
4. Çekme makaslama kuvvetlerine bakıldığında Ni alaşımının alüminyum alaşımının kaynaklanabilirliği üzerinde olumlu etki yarattığı görülmüştür.
5. Karıştırıcı uç uzunluğu ve profilleri kaynak dayanımını doğrudan etkiye sahip olup, kanca dayanımını artırarak çekme makaslama testinde olumlu sonuçlar vermiştir.
6. SKNK sonrası Al levhalar, KB'de ölçülen değere göre kısmen bir yumuşama görülmüştür. ITAB ve TMEB bölgelerinde ise 60-65 HV değerlerinde sertlik elde edilmiştir. Bu değer, o bölgelerdeki sıcaklıktan dolayı tane boyutunun arttığı ve Al levhanın kısmen yumuşadığından dolayıdır.
7. Kanca boylarının 135 µm ve 151 µm olduğu belirlenmiştir. Bu durum ana metal ve kaplanmış metalin difüzyonunu arttırmış olup mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir.

Teşekkür (Acknowledgment)

FEN-C-YLP-100719-0245 numaralı proje kapsamında verdiği finansal destekten ötürü Marmara Üniversitesi

Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (BAPKO) sonsuz şükranlarımızı sunarız.

REFERANSLAR

- [1] Coşkun M. H. (2009). Otomotiv endüstrisinde kullanılan IF 7114 ve DP 600 çelik sacların direnç nokta kaynağı ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- [2] Kurt, A. (1990). Katı hal kaynak teknikleri. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara, 1-10.
- [3] Bilici, M. K., Bakır, B., Bozkurt, Y., Çalış, İ. (2016). Taguchi analysis of dissimilar aluminum sheets joined by friction stir spot welding. Pamukkale Üniversitesi Müh. Bilim Dergisi, 22(1), 17-23.
- [4] Matsuyama, K. (2006). Trends of automobile vehicles and the joining technologies. International Institute of Welding Document, IIW Doc. III- 1386-06,.
- [5] Yamamoto, M., Gerlich, A., North, T.H., Shinozaki, K. (2007). Mechanism of cracking in AZ91 friction stir spot welds. Science and Technology of Welding and Joining, 12, 208-216.
- [6] Thornton, P., Krause, A., Davies, R. (1996). "Aluminium spot weld", Welding Journal, 75, 101-108.
- [7] Spinella, D.J., Brockenbrough, J.R., Fridy, J.M. (2005). Trends in aluminium resistance spot welding for auto industry. Welding Journal, 84, 35-40.
- [8] Oruç, E., Kalender, M., Ulupınar, H., Bozkurt, Y. (2019). Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilen ara katmanlı AA2024-T3 levhaların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Uluslararası Fen Matematik ve Mühendislik Bilimleri Kongresi, İzmir, Türkiye.
- [9] Meran, C., Çolak, M. (2008). Tool holder design for friction stir welding. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(3): 671-679.
- [10] Kalender, M., Kılıç, S.E., Bozkurt, Y., Salman, S., Turker, A. (2009). Design and development of portable fixture for various dimensions specimens joining by friction stir welding. Orta Doğu Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Konferansı.
- [11] Kalender, M., Kılıç, S.E., Bozkurt, Y., Ersoy, S., Salman, S. (2018). Farklı malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağında takım geometrisinin mekanik özelliklere etkisi. International Conference on Welding Technologies and Exhibition, Saraybosna, Bosna Hersek.
- [12] Kahraman, B. (2009). Otomotiv endüstrisinde kullanılan 5754 alüminyum alaşımı sacların direnç nokta kaynağı ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesi.

- Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [13] Khan, N. Z., Siddiquee, A. N., Khan, Z. A. (2017). Friction stir welding dissimilar aluminum alloys, CRC Press Taylor & Francis Group.
- [14] Badarinarayan, H., Hunt, F., Okamoto, K. (2007). Friction stir welding and processing. American Society for Metals, 235-250, America.
- [15] Bozkurt, Y. (2008). Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen AA2124/SiCp/25 kompozit levhaların mekanik özellikleri ve mikroyapı karakterizasyonu. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü, İstanbul.
- [16] Dawes, C.J. (1999). Friction stir welding. The Welding Institute, TALAT Lecture 4410 Cambridge, 1-13.
- [17] Dawes, C.J., Thomas, W.M. (1996). Friction stir process welds aluminum alloys. Welding Journal, 75 (3),41-45.
- [18] Soytemiz, G. (2019). Cu ve Ni Kaplanmış Alüminyum Alaşımli Levhaların Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı, İstanbul.
- [19] Bozkurt, Y., Salman, S., Turker, A. (2018). The investigation and comparison of friction stir spot welding and electrical resistance spot welding of AA2024 aluminum alloy joints. ICENS 4th International Conference on Engineering and Natural Science, Kiev, Ukraine.
- [20] Kaçar, R., Emre, H., Demir, H., Gündüz, S. (2011). Al-Cu-Al malzeme çiftinin sürtünme karıştırma nokta kaynak kabiliyeti. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., Vol 26, No 2, 349-357.
- [21] Arıcı, G. (2013). Nikel alüminatların sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirliklerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak.
- [22] Chung-Wei, Y., Fei-Yi, H., Truan-Sheng, Lui., Li-Hui, C., Jiun-Yu, J. (2009). Weibull statistics for evaluating failure behaviors and joining reliability of friction stir spot welded 5052 aluminum alloy. Materials Transactions, Vol. 50, No. 1, 145-151.
- [23] Yuyang Chen, W. (2015). Refill friction stir spot welding of dissimilar alloys”, Ontario, Canada, pp.18.
- [24] Yan, J. (2004). Fundamental study in fsw processing and fsw process-structure property relationship for AA2024 and AA2524. PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering and Information Technology, University of South Carolina.
- [25] Tümer, M., Kerimak, M.Z.. (2017) Nikel bazlı süper alaşım inconel 625 ile AISI 304L paslanmaz çelik malzeme çiftinin birleştirilmesinde farklı ilave metallerin tokluk ve mikroyapısal özelliklere etkisi, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 4, No: 1, 116-126.
- [26] Bozkurt, Y., Salman, S., Cam, G. (2013). Effect of welding parameters on lap shear tensile properties of dissimilar friction stir spot welded AA 5754-H22/2024-T3 joints. Science and Technology of Welding and Joining, Vol 18, No 4, pp. 337-345.

İş Yerlerinde Ergonomik Koşulların İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Aydınlatma Özelinde Değerlendirilmesi

Lighting Assessment of Ergonomic Conditions in Workplaces in Terms of Occupational Health and Safety

İpek OKŞAK¹ , Orhan GÖKYAY² 

¹ Marmara Üniversitesi, İş Güvenliği Ana Bilim Dalı, İş Güvenliği Programı, İstanbul, TÜRKİYE

² Marmara Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy/İstanbul, TÜRKİYE

Öz

İş yerlerinde çalışanlardan daha fazla verim alınmak istenmesi ve kişilere daha güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamı oluşturabilmek için günümüzde iş sağlığı ve güvenliğine (İSG) verilen önem artmıştır. Bununla birlikte çalışanlar daha değerli hale gelmiş dolayısıyla ergonomi bilimine verilen önem de katlanmıştır. Ergonomi bilimi insan ile iş arasındaki bütün ilişkileri ve bu ilişkiyi etkileyen tüm faktörleri inceler. Çalışanların işe, işin çalışanlara daha uyumlu hale gelmesi ergonominin amacıdır. İkili uyumluluğun sağlanmasıyla beraber çalışanların zorlanmayacağı ve daha verimli olacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada farklı iş kollarından çeşitli çalışanlara anket uygulanmış ve iş yerlerinde ergonomik koşulların uygulanıp uygulanmadığı, iş güvenliğinin sağlanıp sağlanmadığı araştırılmıştır. Araştırmaya toplam 64 kişi katılmıştır. Ergonomik koşullar üzerinde durulmuş, çalışanların sağlığı üzerinde ne tür etkiler yarattığı incelenmiştir.

Bu araştırmanın sonucunda çalışanların ergonomi ve ergonomik koşullarda oluşturulan iş yerleri hakkında bilgi sahibi olmadığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca ofis ortamında kullanılan araç ve gereçlerin ergonomik koşullara uygun olmadığı belirlenmiştir. İşyerlerinde çalışanlar üzerinde aydınlatmanın yüksek önem taşıdığı fark edilmiştir. Aydınlatmanın düşük olduğu alanlarda çalışanların sağlığının olumsuz etkilendiği ve iş kazası oranlarında artış olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, aydınlatma, İş kazası, İş sağlığı ve güvenliği

Abstract

The importance given to occupational health and safety (OHS) has increased today in order to get more efficiency from the employees at workplaces and to create a safer and healthier working environment for people. Moreover, employees have become more valuable therefore the importance given to the science of ergonomics has also increased. Ergonomics examines all the relationships between human and work and all factors affecting this relationship. The purpose of ergonomics is to make the employees more compatible with the job and the job to the employees. It is believed that the employees will not have difficulties and will be more efficient with ensuring bilateral compatibility.

In the study, a questionnaire was applied to various employees from different business lines and it was investigated whether ergonomic conditions were applied in the workplaces and work safety was ensured. A total of 64 people participated in the study. Ergonomic conditions were emphasized, and what kind of effects they have on employees' health was examined.

As a result, it has been revealed that the employees do not have knowledge about ergonomics and workplaces created under ergonomic conditions. In addition, it has been determined that the tools and equipment used in the office environment were not suitable for ergonomic conditions. It has been noticed that lighting has a big importance on those employees in the workplace. It has been observed that the health of employees is negatively affected and there is an increase in occupational accident rates in areas with low illumination.

Keywords: Ergonomics, Lighting, occupational accident, occupational health and safety

I. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüz dünyası her alanda gelişmekte ve her gün yeni sektörler ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte çalışana olan ihtiyaç da artmıştır. İnsanlar vakitlerinin çoğunu işyerlerinde geçirmektedir ve bu yoğunluk yeteneklerine uygun olmayan şekilde iş yaptıklarını fark etmeden çalışmaktadır. Uygunsuz işyerleri sağlık ve güvenlik sorununu da beraberinde getirmekte ve çalışanların sosyal hayatını olumsuz etkilemektedir. Ergonomi faktörü 19'uncu yüzyılda ilk keşfedildiği zamanlara kıyasla şu an çok daha fazla önem görmektedir [1].

Ergonominin temel amacı çalışan ile iş arasındaki uyumu sağlamaktır. Ergonomik faktörler kişinin sağlığı ve güvenliği için büyük önem taşırlar ayrıca unutulmamalıdır ki sağlıklı bir çalışan iş yerinde daha verimli olmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve işverenlerin çalışanlarına verdikleri değerin artmasıyla birlikte ergonomik uygulamalarla çalışanlardan alınan verimin artırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmalar arasında en çok önem ofis çalışmalarına verilmektedir çünkü günümüzde teknolojik gelişmelerin hızla artışına bağlı olarak masa başında geçirilen zaman artmıştır [1]. Ofislerin ve işyerlerinin düzeni tasarlanırken çalışanların rahatlığı, ortamın konforu ve havalandırılması, gürültüyü engellemek amaçlı gerekli ses yalıtımı yapılması ve aydınlatma gibi faktörler ön planda tutulmaktadır [2]. İnsan vücut ısısı çalışma ortamındaki sıcaklığa, neme ve iklime dayalı çevre koşullarına göre dengesini korumaya çalışır. Bu ısı dengesi kanunla belirlenen değerlere uyulmasıyla mümkündür [3].

Ergonomi her işyeri için göz ardı edilmemesi gereken bir konudur. Çalışma sırasında sağlık açısından duruş bozukluğu, psikolojik olarak stres gibi olumsuzlukların önüne geçebilmek veya en aza indirmek, üretilen ürünlerin kalitesi ve verimliliğine de doğrudan yansımaktadır. Ergonominin bir başka amacı da iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmek, çalışanların ruhsal ve fiziksel halini korumak hatta iyileştirmektir.

Bu çalışma işyerlerinde çalışanların iş sağlığı ve güvenliği açısından ergonomi hakkında ne kadar bilgi sahibi olduklarını ölçmeyi, yapılan anketlerle de ergonominin İSG açısından önemini göstermeyi amaçlamaktadır. Araştırmanın anketine katılım gösterenler ofis ve fabrika çalışanlarıdır. Çalışanlarda ergonominin ne derece önem teşkil ettiği, uygulanabilirliği ve iş sağlığı ve güvenliği açısından gerekliliği vurgulanmaya çalışılmıştır. Risk önlemlerinin genel çerçevede incelenmesi ve ergonomik risk faktörleri tanımlanarak, alınması gerekli önlemler başlıklar altında sıralanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan araştırma İstanbul ilinde değişik sektörlerdeki işyerleri baz alınarak yapılmıştır. Farklı sektörlerden çalışanlar seçilerek ergonominin sektörden sektöre yarattığı etki izlenmek istenmiştir. Ankete katılan kişiler sahada ya da ofiste çalışmaktadır. Anket uzayı oluşturulurken iş çeşitliliği geniş tutularak araştırma için gerekli niteliklerin sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışmada öznel değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan anket formunun ilk bölümü altı sorudan oluşmaktadır. Birinci bölümdeki sorular ankete katılanlar arasında genel bilgilerin edinildiği sorulardır.

Hazırlanan formun ikinci bölümü ise Beşli Likert Ölçekle hazırlanmıştır. Likert ölçek; herhangi bir katılımcının belirli bir ifade hakkındaki görüşlerini

ölçmek amacı ile kullanılır. Likert aralıkları, katılımcılardan beklenen cevaplara göre beş, yedi veya dokuz seçeneğe sahip olabilir [5]. Bu bölümde işyerindeki çalışma ortamından kaynaklanan sorunlar ele alınmıştır ve aydınlatma yeterliliği incelenmiştir.

Son bölümde ise Likert ölçeği kullanılarak çalışma ortamında karşılaşılan rahatsızlıkların sıklığı ele alınmıştır. Her bir test için, MS Excel kullanılarak, ortalama kişi sayısı, ardından standart sapmalar hesaplanmıştır.

F testi yani varyans testi yardımıyla varyansların homojenlik gösterip göstermediği belirlenmiştir. Uygulanan teste göre F_{hesap} aşağıdaki formülle F_{tablo} ise MS Excel üzerinden FTTERS formülü ile hesaplanmıştır.

$$F_{Hesap} = (S_{max})^2 + (S_{min})^2 \quad (1)$$

Yapılan bu hesap sonrasında F_{hesap} değeri F_{tablo} değerinden küçük ya da eşitse varyanslar homojendir sonucu çıkarılır eğer tam tersi durum olursa yani büyükse varyanslar homojen değildir.

Testin son kısmı olan hipotezler belirlenirken T_{hesap} aşağıda belirtilmiş olan formülle hesaplanırken, T_{tablo} ise MS Excel kullanılarak TTTERS formülü ile hesaplanmıştır. Formülde yer alan X değeri ortalama kişi sayısını, S değeri ise standart sapmayı, N değeri de kişi sayısını göstermektedir.

H_0 : Skor ortalamaları arasında fark yoktur. ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : Skor ortalamaları arasında fark vardır. ($\mu_1 \neq \mu_2$)

$$S_0^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{(n_1+n_2)-2} \quad (2)$$

$$T_{hesap} = \frac{\frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{S_0^2}{n_1} + \frac{S_0^2}{n_2}}}} \quad (3)$$

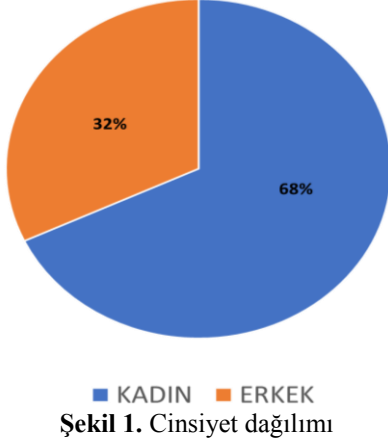
Eğer, T_{hesap} değeri T_{tablo} değerinden küçük veya eşitse H_0 hipotezi kabul edilir ve ortalamalar arasında fark olmadığı sonucuna varılır. Eğer T_{hesap} değeri büyükse tam tersi durum oluşur ve H_1 hipotezi kabul edilip ortalamalar arasında fark olduğu kabul edilir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Anket araştırmasına katılan kadın ve erkeklerin işyerlerinde çalışma şartları, sosyo-demografik özellikleri, sağlık konusunda yaşadıkları rahatsızlıklar, ergonomik rahatsızlıklar, iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin yapılma durumu gibi sorular sorulmuştur. Çıkan sonuçlar iki ortalama arasındaki farkın önemlilik testi ile değerlendirilmiştir.

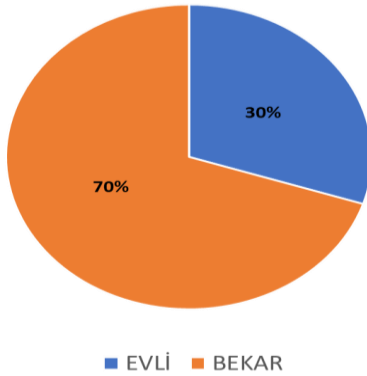
3.1. Ankete Katılan Kişilerin Demografik Özellikleriyle İlgili Bulgular

Toplam 64 çalışana anket uygulaması yapılmış ve anket sonucu ortaya çıkan göstergeler aşağıda sıralanmıştır. Buna göre anket uygulanan çalışanların %68'i kadın, %32'si erkektir (Şekil 1).



Şekil 1. Cinsiyet dağılımı

Anket uygulamasına katılan çalışanların medeni hali Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışanların medeni hali

İstanbul'da çeşitli sektörlerde ve farklı firmalarda çalışan kişilere yapılan anketlerde ergonomik sorunlarla karşılaşma sıklığı skoru değişkeni yönünden yaşları farklı olan iki gurubun ortalamaları Tablo 1'de karşılaştırılmış ve iki ortalama arasında istatistiksel anlamda fark olup olmadığı gözlenmiştir.

Yaş	N	Ortalama (X)	Standart Sapma (S)	F _{hesap}	F _{tablo}	T _{hesap}	T _{tablo}
18-30	34	23,9	2,1	13,34	0,54	2,1	-1,6
30+	39	40,9	7,8				

$F_{hesap}=13,34 > F_{tablo}= 0,54$ olduğu için varyansların homojen olmadığına karar verilmiştir.

Hipotezlerin belirlenmesi;

$T_{hesap} > T_{tablo} = 2.17 > -1,66$

H_0 hipotezi reddedilir ve bu sonuca göre çalışanların yaş gruplarına göre ergonomik sorunlarla karşılaşma sıklığı arasında fark olduğu kabul edilmektedir. 30+ yaş grubundaki insanların ergonomik sorunlarla karşılaşma ihtimali daha fazladır. Uzun yıllar boyunca ergonomik olarak olumsuz koşullarda çalışmış bireylerin yaşayacağı rahatsızlıklar, iş hayatına yeni başlayan insanlarla kıyaslandığında daha fazla olacağı açıktır.

3.2. Aydınlatma

Çalışma ortamındaki tehlikelerin görünür hale gelerek iş güvenliği şartlarının iyileşmesi ve çalışma ortamının güvenliğinin sağlanması açısından aydınlatma çok önemlidir. İş kazalarının da önüne geçilmesi konusunda aydınlatma büyük önem taşımaktadır. İşyerlerinde genellikle, aydınlatma şiddeti 200 lüksten az olduğu zaman iş kazası olma ihtimali artmaktadır. Aydınlatma ihtiyacı işyerlerinde doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İşyerleri tasarlanırken güneş ışığını en iyi alacak şekilde tasarlanmalıdır.

TS EN 12464 numaralı "Işık ve ışıklandırma- İş Mahallerinin Aydınlatılması" standardında belirtilen işyerlerindeki bazı alanlarda ve işlerde gerekli aydınlatma şiddetleri Tablo 2'de verilmektedir;

Tablo 2. Çalışma alanlarında aydınlatma değerleri [TS EN 12464]

ÇALIŞMA ALANLARI	AYDINLATMA ŞİDDETİ (LUX)
Bekleme Salonları	300 LUX
Açık Ofisler	750 LUX
Toplantı Odaları	500 LUX
Ofisler	500 LUX
Rutin Ofis İşleri	400 LUX
Teknik Çizim Ofisleri	750 LUX
Kötü Karşıt ile Çalışma	600 LUX
Resepsiyon Masası	300 LUX
Genel Arka Işık	160-240 LUX
Arşivler	200 LUX
Yol, Merdivenler	50 LUX
İşyerinde Açık Alanlar, Dış Yollar, Geçitler	20 LUX

Yapılan çalışmada ankete katılan kişilere işyerlerindeki aydınlatma ile ilgili bazı sorular yöneltilmiştir. Tablo 3'te çalışanların bu sorulara verdikleri cevaplar görülmektedir.

Tablo 3. İşyerlerinde çalışanların aydınlatmaya ilişkin değerlendirmeleri

Aydınlatma ile İlgili Sorular		
Çalışma ortamındaki aydınlatmaların yeterlilik durumu	Normal %39,7	İyi %31,7
Çalışma ortamındaki aydınlatmanın çalışanı rahatsız etmesi	Nadiren %57,1	Genellikle %19
Ortamın ışığına bağlı olarak gözde kamaşma olması	Nadiren %42,9	Hiçbir Zaman %27
Ortamın ışığına bağlı olarak baş ağrısı, yorgunluk, bulanık görme gibi durumların oluşması	Nadiren %41,3	Hiçbir Zaman %23,8
Hangi tür aydınlatmada kendinizi daha iyi hissediyorsunuz?	Doğal %65,1	Her ikisi de %33,3

Anket sonuçlarına değerlendirildiğinde, çalışma ortamındaki aydınlatmaların yeterliliği açısından ele alındığında çalışanların %60,9'u işyerindeki aydınlatmayı yeterli bulmuştur.

Çalışma ortamında bulunan ışık gözde olumlu ya da olumsuz etkiler yaratmaktadır. Çalışanlara ortamın ışığına bağlı olarak gözde kamaşma olması durumu sorulduğunda sadece %19'luk bir dilim genellikle böyle bir durumla karşılaştığını belirtmiştir.

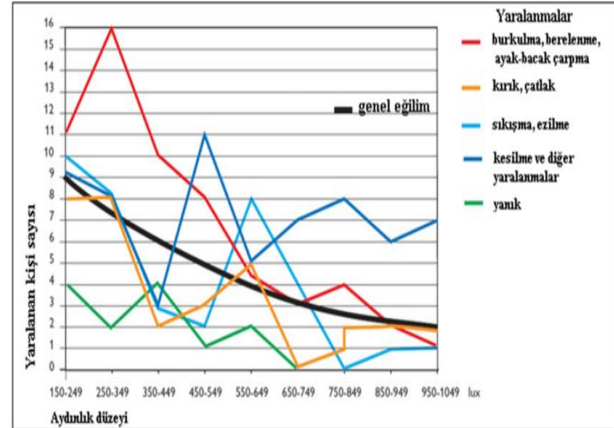
İşyeri ortamında yanlış aydınlatmadan doğan olumsuz etkiler yalnızca göz değil, baş ağrısı, yorgunluk, bulanık görme gibi olumsuz sonuçlara da sebep olmaktadır. Yapılan anket sonuçlarına göre çalışanların %41,3'ü ortamdaki ışıktan kaynaklı olarak baş ağrısı, bulanık görme, yorgunluk gibi negatif sonuçlara sebep olmaktadır, ankete katılanların %23,8'i ise hiçbir zaman böyle bir sorunla karşılaşmadığını belirtmektedir.

Gün ışığının işyerinin kapı, pencere gibi her türlü açık alanlarındaki boşluklardan sızarak içeri girmesini sağlayan aydınlatma türüne doğal aydınlatma denir. Gün ışığının yetersiz olduğu durumlarda ise yapay aydınlatma kullanılmaktadır. 'Hangi tür aydınlatmada kendinizi daha rahat hissediyorsunuz?' sorusuna çalışanların %65,1'i doğal aydınlatma cevabını vermiştir.

İnsanlar için sağlıklı olan ışık kaynağı gün ışığıdır. Doğal bir aydınlatma sağlandığı zaman çalışanların kendilerini daha iyi hissettikleri gözlemlenmiştir. İşyerlerindeki olumsuz aydınlatma koşulları çalışanların iş performansını olumsuz etkilemekle birlikte aynı zamanda sağlık sorunlarıyla da

ilişkilendirilmektedir. Görsel rahatsızlıklar olarak bahsedilen bu rahatsızlıklar arasında, aydınlatmanın hatalı oluşundan kaynaklanan göz yorgunluğu da yer almaktadır. Yanlış aydınlatma sonucu çalışanlarda; baş ağrısı, göz kuruluğu, göz yaşarması, göz tahrişi, göz kaşıntısı, görme bulanıklığı gibi sorunlar ortak olarak görülmektedir. Çalışanların işyerlerinde bulunan tehlikeleri fark edebilmeleri için aydınlatma seviyelerinin belirlenen asgari seviyede olması gerekmektedir. Ortamdaki aydınlatma iyileştikçe, çalışanlar yaptıkları işleri daha net göreceklerdir. Amerikan Ulusal Güvenlik Konseyi'nin paylaştığı rapora göre yaşanan iş kazalarının %5'inin sebebi kötü aydınlatmadır ve kötü aydınlatma nedeniyle oluşan göz yorgunluğuyla beraber bu oran %20'ye çıkmaktadır. Amerika'da bir sanayide yapılan çalışmada aydınlatma seviyelerinde iyileştirme yapıldıktan sonra iş kazası oranında %32'lik bir düşüş gözlemlenmiştir [7].

İş kazalarının oluşumunda birçok etken vardır fakat işyerlerinde yeterli aydınlatma sağlandığı zaman iş kazalarının büyük çoğunluğu önlenmektedir. Yetersiz aydınlatma sonucunda en sık görülen kazalar; kayma, takılma ya da düşme kazalarıdır. Şekil 3'te de görüldüğü gibi yaralanma en çok 250 lüksün altındaki aydınlatma düzeylerinde yaşanmaktadır.

**Şekil 3.** Aydınlatma düzeyine göre farklı endüstrilerde iş kazası sayıları [7]

Yukarıda da görüldüğü gibi yetersiz aydınlatma birçok türde kazaya ve bu kazalarda farklı çeşitlerde yaralanmaya neden olmaktadır. Şekil 3 incelendiğinde yetersiz aydınlatmadan dolayı kişilerin en çok burkulma, ayak-bacak çarpma gibi yaralanma türüyle karşılaştığı görülmektedir.

Ayrıca ortam aydınlatmasının değerlendirmesi yaş çeşitli yaş gruplarına göre de değişmektedir. Yapılan anket çalışmasının sonucu, iki ortalama arasındaki farkın önemlilik testi yöntemi uygulanarak aşağıdaki sonuçlarla desteklenmiştir. Yapılan test farklı aralıklardaki yaş grupları ve çalışma sürelerinin değişimine bağlı olarak aydınlatma koşullarındaki maruziyet arasında fark olup olmadığı Tablo 4'te incelenmiştir.

Tablo 4. Yaş gruplarına göre çalışma ortamındaki aydınlatmaların yeterlilik skoru verileri

Yaş	N	Ortalama (X)	Standart Sapma (S)	F _{hesap}	F _{tablo}	T _{hesap}	T _{tablo}
18-30	22	31.5	4,75	2,50	0,55	2.15	-1,69
30+	11	17	3				

$F_{Hesap}=2.50 > F_{Tablo}=1,69$ olduğu için varyansların homojen olmadığına karar verilir

$$T_{hesap}= 2.15 > T_{tablo}= -1,69$$

H_0 hipotezi reddedilir ve bu sonuca göre çalışanların yaş gruplarına göre işyeri ortamında aydınlatmaların yeterliliğinden kaynaklı sorunlarla karşılaşma sıklığı arasında fark olduğu kabul edilmektedir. 30+ yaş grubundaki insanların aydınlatma ile ilgili sorunlarla karşılaşma ihtimali daha fazladır. Yaş ilerledikçe gözün görme yetisi de düşmektedir. Yaş gruplarına göre gereken aydınlatma miktarı farklıdır. Yapılan bir araştırma sonucu 40 yaşındaki bir bireyin kitap okurken ihtiyacı olan aydınlatma değeri 1 olarak belirlenmiştir [7]. Yaşa göre bu değerler Tablo 5'te de belirtildiği gibi farklılık göstermektedir.

Tablo 5. Yaş sınırlarına göre gerekli aydınlatma değerleri [7]

Yaş sınırı	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Aydınlatma düzeyi	0.3-0.5	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-2.0	2.0-5.0

Çalışanların iş hayatında geçirdikleri süreler farklılık göstermektedir. Uzun yıllar çalışan bir kişi ile iş hayatına yeni başlayan kişinin yaşadığı göz problemleri arasında farklar bulunmaktadır. Tablo 6'da kişilerin çalışma sürelerine göre ortam ışığından kaynaklı olarak yaşadıkları problemler açısından fark olup olmadığı ele alınmıştır.

Tablo 6. Çalışma sürelerine göre çalışma ortamının ışığına bağlı olarak baş ağrısı, yorgunluk, bulanık görme gibi durumların oluşması skoru verileri

Yaş	N	Ortalama (X)	Standart Sapma(S)	F _{hesap}	F _{tablo}	T _{hesap}	T _{tablo}
0-10 Yıl (Hiçbir Zaman)	10	25,5	7,75	9,61	0,32	0,63	-1,72
10+ Yıl (Nadiren)	13	18	2,5				

$F_{Hesap}=9,61 > F_{Tablo}= 0,32$ olduğu için varyansların homojen olmadığına karar verilir.

$$T_{hesap}= 0,63 > T_{tablo}= -1,72$$

H_0 hipotezi reddedilir ve bu sonuca göre çalışanların çalışma sürelerine bakıldığı zaman çalışan kişilerin

ortamın ışığına bağlı olarak baş ağrısı, yorgunluk, bulanık görme gibi durumların oluşması sıklığı arasında fark olduğu kabul edilmektedir. Çalışma süresi fazla olan kişilerde ortamın ışığına bağlı olarak sorun yaşama ihtimali daha fazladır. Uzun yıllar ekranlı araçlarla çalışan kişilerde gözde yıpranma yaşanması ve göze bağlı sağlık sorunları yaşanması riski daha yüksektir. Aynı durum iş hayatında uzun yıllar çalışan kişiler için de geçerlidir.

IV. SONUÇLAR

Teknolojideki gelişmelerle birlikte yeni iş sektörleri ortaya çıkmış ve bunun sonucu olarak işgücü ihtiyacı artmıştır. Bunlara paralel olarak insana verilen önem fazlalaşmış, çalışanların işyerlerinde sağlığına ve güvenliğine dikkat edilmeye başlanmıştır. Çalışanlara işyerlerinde daha iyi çalışma şartları sunulduğu zaman işlerinde daha verimli oldukları gözlenmiştir. Tüm bu sebeplerden dolayı yapılan işin insana, insanın da işe uyumlu olması konusunda planlamalar yapılmıştır. Ergonomi, çalışma şartlarının insana göre düzenlenmesini sağlayarak işyerlerinin ve çalışanın verimini arttırmayı amaçlayan bilim dalıdır.

Yapılan bu çalışmada işyerlerinde olması gereken ergonomik koşullardan, çalışma ortamındaki aydınlatmadan kaynaklanan olumsuz koşullar, bu olumsuz koşulların kişilerin sağlığına etkisinden bahsedilmiştir.

Bu araştırma ergonomik koşulların çeşitli sektörlerde ve yaş gruplarında farklı etkiler yaratıp yaratmadığını ölçmek amacıyla gerek sahada gerekse ofis ortamında olmak üzere çeşitli sektörlerde çalışan kişilere uygulanmıştır. Hazırlanan anket soruları her çalışana uygulanmış, sonuçları anlamlandırabilmek adına kişiler yaş gruplarına göre ve toplam çalışılan mesleki tecrübe süresine göre iki grupta ele alınmıştır. Yaş gruplarına ve toplam çalışılan mesleki süreye göre aydınlatma ile ilgili sorulara verilen cevaplara bakılınca iki grubun verdiği cevaplar arasında farklılık olduğu iki ortalamanın farkı testiyle ortaya konmuştur.

İşyerlerinin ergonomik olarak düzenlenmesi çalışma koşulları açısından önem taşımaktadır. İşyerlerini düzenlerken aydınlatma, ısıtma ve soğutma sistemleri, havalandırma sistemleri, ses düzeyinin ayarlanması için gürültü yalıtımı yapılarak çalışanlara uygun hale getirilmelidir. Aydınlatma çalışma ortamında güvenli ve sağlıklı bir şekilde çalışabilmek için çok önemlidir. İş kazalarının oluşmasında ortamdaki aydınlatma yetersizliğinin etkisi büyüktür. Anket sorularının yöneltildiği alanların işyerlerinde genel olarak aydınlatma sorunu ve bu sorundan kaynaklı gözde sağlık problemleri yaşanmadığı görülmektedir. Çalışılan ortamda genellikle aydınlatma seviyesi 200-250 lüksten aşağı düştüğü zaman iş kazası riski arttığı için bu değerlerin altına inmemeye dikkat edilmelidir. İşverenler çalışanlarına sağlıklı ve güvenli işyeri ortamı sağlamak zorundadır. Bu sebeple işverenler

çalışanların sağlıklı olarak çalışabilmesi için gerekli aydınlatma değerini sağlamakla yükümlüdür.

İşyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği bilincinin oluşmasıyla kanunla da zorunlu hale gelen iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri düzenli olarak verilmekte ve çalışanlarda iş güvenliği bilinci oluşturulmaktadır. Fakat ergonomi konusunda çoğu çalışan bilinçlendirilmediği için ergonomik sorunlardan dolayı yaşanan sağlık sorunları meydana gelmektedir. Bu yüzden ergonomi konusunda eğitim vermek çalışanları bu konuda bilinçlendirmek gerekmektedir.

Ergonomik olmayan çalışma koşulları çalışanlarda çeşitli davranışlara sebep olmaktadır. Bu tür davranışlar, iş kazaları, meslek hastalıkları, çalışanın işinde başarısız olması, stres, odaklanma sorunu gibi davranışlara neden olmaktadır. Ergonomik olmayan çalışma koşulları, kişileri olumsuz yönde etkilemekte bu da iş veriminin düşmesine neden olmaktadır.

Ergonomi çalışanların iş yaparken daha az yorulmasını sağlayarak karşılaşılan iş kazası ve meslek hastalığı oranını düşürmekte, insanı ve insanın çalışma şartlarını ön plana çıkarmaktadır. Aynı zamanda ergonomi tüm bunları gerçekleştirirken verimi de arttırmaktadır. Ergonomik çalışma koşulları ülkenin kalkınması için büyük bir ekonomik faktör haline gelmiştir. Ergonomi bilincinin tüm ülkede yaygınlaştırılması yaşam tarzı haline gelmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak çalışanların rahat edebileceği ergonomik çalışma ortamları oluşturulduğunda, verimli çalışmalar beraberinde gelecektir. Bürolardaki iç tasarım uzman kişilerin yönetiminde yapılırsa birçok sıkıntının baştan önüne geçilmiş olacaktır. Bunun sonucunda kurumlar hedeflediği hizmet başarısını yakalayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Bayrakçıoğlu, E. (2018). Bilgisayar Kullanıcılarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 1-29.
- [2] Turan, Ö. (2016). Ofis Çalışmalarında Ergonomik Risklerin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 10-37.
- [3] Kırac, Y. (2005). Büro Yönetiminde Ergonomi ve Ergonominin Verimliliğe Etkisi: Ankara Emniyet Müdürlüğü'nde Bir Uygulama. T.C. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Büro Yönetimi Ana Bilim Dalı. Ankara, Türkiye, 10-12.
- [4] Bilgiç, E. (2013). İşyerinde Ergonomik Risklerin Değerlendirilmesi; Tehlikeli Sınıfta Yer Alan Bir Fabrikanın Üretim Sahalarında Çalışan Kişilerin Kas İskelet Sistemi Yakınmaları Ve Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, T.C Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, Türkiye, 3-4.
- [5] <http://help.planports.com/Blog/Post/likert-olcegi-nerdir>, 2014.
- [6] Efe, N. (2016). Büroların Ergonomik Açısından Düzenlenmesinin Verimlilik Açısından Rolü, Yüksek Lisans Tezi, T.C Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 28-44.
- [7] Bayraktar, G. (2016). İşyerlerinin Aydınlatma Koşullarının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 7-20.

Polihedral Küme-Değerli Dönüşümlerin Yardımıyla Bir Eşitsizlik Sisteminin Çözülebilirliği Üzerine

On the Solvability of an Inequality System via Polyhedral Convex Set-Valued Mappings

Özkan DEĞER¹ 

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Vezneciler, 34134, İstanbul, Türkiye

Öz

Küme-değerli dönüşümlerin bilimsel, teknik ve diğer akademik disiplinlerdeki çeşitli çalışmalarda ortaya çıkan problemlerin çözümünde temel bir matematiksel araç olarak kullanılması günden güne hızla artmaktadır. Örneğin doğrusal olmayan analiz, doğrusal olmayan programlama, matematiksel ekonomi ve işletme, optimal kontrol teorisi, biyoloji, yapay zeka ve daha birçok araştırma alanlarında ortaya çıkan problemlere küme-değerli dönüşümler ve onlara ait teoriler ile çözüm bulunabilmektedir. Bu çalışmada $x \in \mathbb{R}^n$, $y \in \mathbb{R}^m, y \geq 0$, A bir $r \times n$ matris, B bir $r \times m$ matris olmak üzere bir $(x_0, y_0) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ için $Ax_0 - By_0 \leq 0$ eşitsizliğinin gerçekleşmesi durumunda polihedral küme-değerli dönüşümler kullanılarak $Ax - By \leq 0$ şeklinde verilen bir eşitsizlik sisteminin herhangi bir x için y 'ye göre çözülebilir olabilmesi için bir yeter koşul verilmektedir. Bu amaçla önce, verilen eşitsizlik sisteminin uygun bir konveks küme-değerli dönüşüm ile ifade edildi sonra da o küme-değerli dönüşümün eşlenik dönüşümü belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Polihedral küme-değerli dönüşümler, Doğrusal eşitsizlik sistemlerinin çözümleri, Eşlenik küme-değerli dönüşümler, Konveks analiz, Yeter koşullar

Abstract

The use of set-valued mappings as a basic mathematical tool in solving problems arising in various studies in scientific, technical and other academic disciplines is increasing day by day. For example, one can be found solutions with using set-valued mappings and their related theories to some problems that arise in nonlinear analysis, nonlinear programming, mathematical economics and management, optimal control theory, biology, artificial intelligence and many other research areas. In this work, using by polyhedral set-valued mapping we get a sufficient condition for an inequality system given as $Ax - By \leq 0$ to be solvable according to y for any x , where $x \in \mathbb{R}^n$, $y \in \mathbb{R}^m, y \geq 0$, A is an $r \times n$ matrix, B is an $r \times m$ matrix and $Ax_0 - By_0 \leq 0$ is satisfied for a point $(x_0, y_0) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$. For this purpose firstly, the given inequality system is expressed with a suitable convex set-valued mapping and then the conjugate mapping of that set-valued mapping is determined. **Keywords:** Polyhedral set-valued mappings, Solutions of linear inequality systems, Conjugate set-valued mappings, Convex analysis, Sufficient conditions

I. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı $x \in \mathbb{R}^n$, $y \in \mathbb{R}^m, y \geq 0$, A bir $r \times n$ matris, B bir $r \times m$ matris olmak üzere bir $(x_0, y_0) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ için $Ax_0 - By_0 \leq 0$ eşitsizliğinin gerçekleşmesi durumunda $Ax - By \leq 0$ şeklinde verilen eşitsizlik sisteminin herhangi bir x için y 'ye göre çözülebilir olabilmesi için polihedral küme-değerli dönüşümlerin eşlenik dönüşümlerini kullanarak bir yeter koşul vermektir. Bu amaçla Pshenichnyi tarafından [1]'de verilmiş olan yerel eşlenik küme-değerli dönüşüm kavramı yerel bir değişken barındırdığından konveks optimizasyon problemlerinde gerek ve yeter koşulları belirlemede kullanılabilir. Bu kavram Rockafellar'ın [2]'de verdiği küme-değerli dönüşümlerin bir genelleştirilmiş olan "bifunction" kavramı ile yakından ilişkili olmakla beraber "bifunction" kavramı daha çok dualite problemlerinin ispatı için kullanılmaktadır. Öte yandan bir lineer programlama probleminin uygun çözümler kümesi konveks polihedral bir küme olarak yazılabildiğinden polihedral kümeler lineer programlama problemlerinde önemli bir role sahiptir. Küme değerli dönüşümlerin özel bir hali olan polihedral küme-değerli dönüşümler ve bu tip küme-değerli dönüşümleri barındıran bir takım diskret ve diferansiyel içermeli problemlerin optimizasyonu Mahmudov ve öğrencileri tarafından [3,4,5,6,7]'de ele alınmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde konveks analizde kullanılan ve bu çalışmanın konusu olan bazı temel kavramlar tanıtılacaktır. Bu amaçla yalnızca çalışma içerisinde referans verilecek tanım, önerme, teorem ve sonuçlara kendi aralarında

sıralanacak biçimde numara verilmiştir. Ayrıca daha önceden bilinen önerme, teorem ve sonuçların ispatları tekrardan kaçınmak için referans gösterilerek verilecektir. Konveks analize ait kavramlar ve sonuçlar ile ilgili derinlemesine bilgi için [2,8,9] kaynaklarına bakılmalıdır.

\mathbb{R} reel sayılar kümesi olmak üzere her $i = 1, \dots, n$ için $x^i \in \mathbb{R}$ gerçekleyen $x = (x^1, \dots, x^n)$ vektörlerinin n -boyutlu Öklid uzayı \mathbb{R}^n ile gösterilecektir. $x_1, x_2 \in \mathbb{R}^n$ vektörleri için iç çarpım $\langle x_1, x_2 \rangle = \sum_{i=1}^n x_1^i x_2^i$ ve bu iç çarpım yardımıyla da bir $x \in \mathbb{R}^n$ vektörünün normu $\|x\| = \sqrt{\langle x, x \rangle}$ şeklinde tanımlanacaktır. $x_1, x_2 \in \mathbb{R}^n$ vektörleri için $x_1 \leq x_2$ yazılışı ile her bir $i = 1, \dots, n$ için $x_1^i \leq x_2^i$ eşitsizliklerinin gerçekleştiği ifade edilecektir. Sıfır reel sayısı ile ilgili uzaydaki sıfır vektörü olan orijin aynı 0 sembolü ile gösterilecektir.

Bir $K \subseteq \mathbb{R}^n$ kümesi ancak ve yalnız her $x_1, x_2 \in K$ ve her $0 \leq \lambda \leq 1$ için $(1 - \lambda)x_1 + \lambda x_2 \in K$ içermesini sağlandığında konveks olarak adlandırılır. K kümesinin içi $int K$, kapanışı \bar{K} , afin örtüsü $aff(K)$ ve izafi içi $ri K$ ile gösterilecektir.

Önerme 1. [1] $\emptyset \neq K \subseteq \mathbb{R}^n$ konveks bir küme olmak üzere daima $ri K \neq \emptyset$ geçerlidir.

Eğer $K \subseteq \mathbb{R}^n$ kümesi sonlu sayıdaki kapalı yarı-uzayın kesişimi olarak ifade edilebiliyorsa, yani $i = 1, 2, \dots, r$ için $b_i \in \mathbb{R}^n$ ve $\alpha_i \in \mathbb{R}$ olmak üzere $\langle x, b_i \rangle \leq \alpha_i$ biçimindeki sonlu sayıda eşitsizlikler sisteminin çözümü ise K kümesi bir polihedral küme denir. Dolayısıyla herhangi bir polihedral küme A bir $r \times n$ matris ve b bir r -boyutlu sütun vektör olmak üzere $\{x \in \mathbb{R}^n : Ax \leq b\}$ kümesi ile ifade edilebilir. Tanım gereği polihedral kümeler kapalı ve konveks bir kümelerdir.

Bir $\emptyset \neq K \subseteq \mathbb{R}^n$ kümesi her $\lambda > 0$ ve her $x \in K$ için $\lambda x \in K$ içermesini gerçekliyorsa koni olarak adlandırılır. Eğer bu K kümesi aynı zamanda konveks ise o zaman bu koniye konveks koni denir.

Tanım 1. Konveks bir K konisinin dual konisi $K^* = \{x^* \in \mathbb{R}^n : \forall x \in K \text{ için } \langle x, x^* \rangle \geq 0\}$ şeklinde tanımlanan kapalı ve konveks bir konidir.

Önerme 2. [8, 9] Herhangi bir $\emptyset \neq K \subseteq \mathbb{R}^n$ konveks konisi için $K^{**} = \bar{K}$ bağıntısı geçerlidir.

X ve Y sonlu boyutlu Öklid uzayları ve $Z = X \times Y$ olsun. Herhangi bir $M \subseteq Z$ kümesini göz önüne alınsın. Bu durumda M kümesi her $x \in X$ için $F(x) = \{y : (x, y) \in M\}$ bağıntısı ile bir $F(x) \subseteq Y$ kümesi belirlenir. Bu F bağıntısına X 'ten Y 'ye bir küme-değerli dönüşüm denir ve kısaca $F: X \rightarrow P(Y)$ biçiminde ifade edilir, burada $P(Y)$ ile Y kümesinin tüm alt kümelerinin kümesi olan Y kümesinin kuvvet kümesi gösterilmektedir. Bu çalışmada bundan sonra aksi söylenmedikçe F dönüşümü ile $F: X \rightarrow P(Y)$ küme-değerli dönüşümü kastedilecektir.

Bir F küme-değerli dönüşümüne ilişkin aşağıdaki iki küme tanımlanır:

$$dom F = \{x : F(x) \neq \emptyset\} \subseteq X \quad \text{ve}$$

$$gph F = \{(x, y) : y \in F(x)\} \subseteq X \times Y.$$

Dikkat edilirse $gph F$ kümesi F küme-değerli dönüşümünü tek türlü belirleyen bir kümedir.

Tanım 2. Eğer $gph F$ kümesi $X \times Y$ 'de konveks bir küme ise F dönüşümüne konveks küme-değerli dönüşüm denir. Bu durumda herhangi $x_1, x_2 \in X$ ve $0 \leq \lambda \leq 1$ için aşağıdaki

$$F((1 - \lambda)x_1 + \lambda x_2) \supseteq (1 - \lambda)F(x_1) + \lambda F(x_2) \quad (1)$$

kapsama gerçekleşir.

$\emptyset \neq K$ konveks bir küme olduğunda $cone(K) = \{\lambda x : \lambda > 0, x \in K\}$ şeklinde oluşturulan kümeye K kümesinin doğurduğu konveks koni denir.

Tanım 3. F bir konveks dönüşüm olduğunda $z_0 = (x_0, y_0) \in gph F$ olmak üzere

$$K_{gph F}(z_0) = cone(gph F - z_0)$$

$$= \{(\bar{x}, \bar{y}) : \bar{x} = \lambda(x - x_0), \bar{y} = \lambda(y - y_0),$$

$$\lambda > 0, (x, y) \in gph F\} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanan koniye konveks $gph F$ kümesinin $z_0 \in gph F$ noktasındaki teğet yönler konisi denir.

$z \in gph F$ olmak üzere $K_{gph F}(z)$ konveks konisinin belirlediği konveks küme-değerli dönüşümü

$$F(\bar{x}; z) = \{\bar{y} : (\bar{x}, \bar{y}) \in K_{gph F}(z)\} \quad (3)$$

ile gösterilir [5,8,9].

Tanım 4. F bir konveks dönüşüm, $z \in gph F$ ve $K_{gph F}^*(z)$ konisi $K_{gph F}(z)$ konisinin dual konisi olmak üzere

$$F^*(y^*; z) = \{x^* : \langle -x^*, y^* \rangle \in K_{gph F}^*(z)\} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanan küme-değerli dönüşüme F dönüşümünün $z \in gph F$ noktasındaki yerel eşlenik dönüşümü denir.

Sonuç 1. Dual koni ve yerel eşlenik dönüşüm tanımları kullanılarak $x^* \in F^*(y^*; z)$ içermesinin gerçekleşmesi için gerek ve yeter koşulun her $(\bar{x}, \bar{y}) \in K_{gph F}(z)$ için $-\langle \bar{x}, x^* \rangle + \langle \bar{x}, y^* \rangle \geq 0$ eşitsizliğinin sağlanması olduğu sonucuna varılır.

Eğer $gph F$ kümesi $X \times Y$ 'de polihedral bir küme ise F dönüşümüne bir polihedral dönüşüm denir. Polihedral kümelerin konveks oldukları bilgisi ve Tanım 2 birlikte

ele alındığında böyle bir F dönüşümünün konveks bir dönüşüm olduğu görülür.

Teorem 1. [5, 8] $x \in \mathbb{R}^n, y \in \mathbb{R}^n, A$ bir $r \times n$ matris, B bir $r \times n$ matris, A^T ve B^T sırasıyla A ve B matrislerinin transpozeleri, d vektörü r -boyutlu bir sütun vektör olmak üzere $gph F = \{(x, y) : Ax - By \leq d\}$ polihedral dönüşümü verilsin. Bu durumda $gph F$ kümesinin $z_0 \in gph F$ noktasındaki $K_{gph F}(z_0)$ teğet yönler konisinin dual konisi aşağıdaki konidir;

$$K_{gph F}^*(z_0) = \{(x^*, y^*) : x^* = -A^T u, \quad y^* = B^T u,$$

$$0 \leq u \in \mathbb{R}^r\}.$$

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde $x \in \mathbb{R}^n, y \in \mathbb{R}^m$ ve A bir $r \times n$ matris, B bir $r \times m$ matris olmak üzere

$$Ax - By \leq 0, \quad y \geq 0 \tag{5}$$

eşitsizlik sisteminin herhangi bir x için y 'ye göre çözülebilirliği problemi küme-değerli dönüşüm kavramını kullanarak ele alınacak ve eşlenik küme-değerli dönüşüm yardımıyla çözülebilirliği için bir yeter koşul verilecektir.

Şimdi (5) sistemine karşılık gelen aşağıdaki $F: \mathbb{R}^n \rightarrow P(\mathbb{R}^m)$ küme-değerli dönüşümü tanımlayalım,

$$F(x) = \{y : Ax - By \leq 0, \quad y \geq 0\}$$

Bu durumda (5) sisteminin çözülebilirliği problemi $F(x) \neq \emptyset$ sağlanması durumunda koşulların belirlenmesine problemine indirgenmiş olur.

Önerme 3. $F(\bar{x}; z) = \{\bar{y} : (\bar{x}, \bar{y}) \in K_{gph F}(z)\}$ şeklinde tanımlanan bir küme-değerli dönüşüm \bar{x} 'ye göre pozitif homojendir.

İspat. $\lambda > 0$ olmak üzere Eşitlik (3) kullanılarak

$$\begin{aligned} F(\lambda \bar{x}; z) &= \{\bar{y} : (\lambda \bar{x}, \bar{y}) \in K_{gph F}(z)\} \\ &= \left\{ \bar{y} : \lambda \left(\frac{\bar{x}}{\lambda}, \frac{\bar{y}}{\lambda} \right) \in K_{gph F}(z) \right\} \\ &= \left\{ \bar{y} : \left(\frac{\bar{x}}{\lambda}, \frac{\bar{y}}{\lambda} \right) \in \frac{1}{\lambda} K_{gph F}(z) \right\} \\ &\stackrel{(*)}{=} \left\{ \bar{y} : \left(\frac{\bar{x}}{\lambda}, \frac{\bar{y}}{\lambda} \right) \in K_{gph F}(z) \right\} \\ &= \{\lambda \bar{y} : (\bar{x}, \bar{y}) \in K_{gph F}(z)\} \\ &= \lambda \{\bar{y} : (\bar{x}, \bar{y}) \in K_{gph F}(z)\} \\ &= \lambda F(\bar{x}; z) \end{aligned}$$

bulunur. Burada, $K_{gph F}(z)$ kümesi bir koni olduğundan $\lambda > 0$ için $\frac{1}{\lambda} K_{gph F}(z) = K_{gph F}(z)$ eşitliği sağlanacağı için (*) eşitliği geçerlidir.

Sonuç 2. $dom F(\cdot; z)$ kümesi \mathbb{R}^n 'de konveks bir konidir.

İspat. $gph F(\cdot; z) = K_{gph F}(z)$ ve $K_{gph F}(z)$ konveks

olduğu için Tanım 2 nedeniyle $F(\cdot; z)$ konveks bir küme-değerli dönüşümdür. Bu durumda $dom F(\cdot; z)$ kümesi \mathbb{R}^n 'de konveks bir kümedir. Çünkü $0 \leq \lambda \leq 1$ ve $\bar{x}_1, \bar{x}_2 \in dom F(\cdot; z)$ için Eşitlik (1) nedeniyle $F(\lambda \bar{x}_1 + (1 - \lambda)\bar{x}_2; z) \supseteq \lambda F(\bar{x}_1; z) + (1 - \lambda)F(\bar{x}_2; z) \neq \emptyset$ geçerlidir. Üstelik $\bar{x} \in dom F(\cdot; z)$ ve $\lambda > 0$ için $\lambda \bar{x} \in dom F(\cdot; z)$ gerçekleşir. Çünkü $\bar{x} \in dom F(\cdot; z)$ ise $F(\bar{x}; z) \neq \emptyset$ olup Önerme 3 nedeniyle $F(\lambda \bar{x}; z) = \lambda F(\bar{x}; z) \neq \emptyset$ gerçekleşir bu ise $\lambda \bar{x} \in dom F(\cdot; z)$ demektir. Şu halde $dom F(\cdot; z)$ kümesi \mathbb{R}^n 'de konveks bir konidir.

Önerme 4. $(dom F(\cdot; z))^* = -F^*(0; z)$ geçerlidir.

İspat. $dom F(\cdot; z)$ kümesinin Sonuç 2 nedeniyle \mathbb{R}^n 'de konveks bir koni olduğu göz önüne alınırsa aşağıda hesaplanan dual konisinden söz edilebilir. Bu durumda Tanım 1 ve Sonuç 1 yardımıyla

$$\begin{aligned} (dom F(\cdot; z))^* &= \{x^* : \forall \bar{x} \in dom F(\cdot; z) \text{ için } \langle \bar{x}, x^* \rangle \geq 0\} \\ &= \{x^* : \forall (\bar{x}, \bar{y}) \in K_{gph F}(z) \text{ için } \langle \bar{x}, x^* \rangle + \langle \bar{y}, 0 \rangle \geq 0\} \\ &= \{x^* : (x^*, 0) \in K_{gph F}^*(z)\} \\ &= -\{-x^* : (x^*, 0) \in K_{gph F}^*(z)\} \\ &= -\{x^* : (-x^*, 0) \in K_{gph F}^*(z)\} \\ &= -F^*(0; z) \end{aligned}$$

elde edilir.

Önerme 5. $(dom F(\cdot; z))^* = \{0\}$ ise $dom F(\cdot; z) = \mathbb{R}^n$ olur.

İspat. $K := dom F(\cdot; z)$ diyelim. Sonuç 2 nedeniyle $K \subseteq \mathbb{R}^n$ konveks konidir. Dolayısıyla Önerme 2 yardımıyla $\bar{K} = K^{**} = \{0\}^* = \mathbb{R}^n$ elde edilir. Yani K konveks konisi \mathbb{R}^n uzayında yoğundur. Şimdi iddiamız $K = \mathbb{R}^n$ olduğudur. Bunun için $\mathbb{R}^n \subseteq K$ gerçekleştiğini göstermek yeterlidir. Eğer bu kapsama geçerli olmasaydı $\bar{x}_0 \notin K$ gerçekleyen bir $\bar{x}_0 \in \mathbb{R}^n$ elemanı var olurdu. Öte yandan K bir konveks koni ve $\bar{K} = \mathbb{R}^n$ olduğu için konveks analiz kavramları yardımıyla K konisinin afin örtüsünün $aff(K) = \mathbb{R}^n$ olduğu görülür. Bu durumda K konveks konisinin içi ile izafi içi çakışır, yani $int K = ri K$ olur. Önerme 1 nedeniyle konveks K kümesinin izafi içi boş değildir. Böylece $\bar{x}_1 \in int K (\neq \emptyset)$ olmak üzere $\hat{x} := 2\bar{x}_0 - \bar{x}_1$ noktasını tanımlayabiliriz. K konveks konisi \mathbb{R}^n uzayında yoğun olduğundan $\forall k \in \mathbb{N}$ için $\hat{x}_k \in K$ ve $\lim_{k \rightarrow \infty} \hat{x}_k = \hat{x}$ koşulunu sağlayan bir (\hat{x}_k) dizisi vardır. Şimdi $\forall k \in \mathbb{N}$ için elemanları

$$\bar{x}_k = 2\bar{x}_0 - \hat{x}_k \tag{6}$$

şeklinde tanımlanan (\bar{x}_k) dizisini göz önüne alalım. $\lim_{k \rightarrow \infty} \bar{x}_k = \lim_{k \rightarrow \infty} 2\bar{x}_0 - \hat{x}_k = 2\bar{x}_0 - \hat{x} = 2\bar{x}_0 - (2\bar{x}_0 - \bar{x}_1) = \bar{x}_1$ bulunur. Bu durumda $\bar{x}_1 \in int K$ olduğundan yeterince büyük $k \in \mathbb{N}$ doğal sayıları için $\bar{x}_k \in K$ olur.

Sonuç olarak Eşitlik (6)'dan $\bar{x}_0 = \frac{1}{2}\bar{x}_k + \frac{1}{2}\hat{x}_k$ ve K konveks olduğundan $\bar{x}_0 \in K$ bulunur ki bu durum $\bar{x}_0 \notin K$ olması ile çelişir. Dolayısıyla $\mathbb{R}^n \subseteq K$ kapsamı geçerlidir ve sonuçta $K = \text{dom } F(\cdot; z) = \mathbb{R}^n$ bulunur.

Teorem 2. F bir konveks küme-değerli dönüşüm olmak üzere $z = (x_0, y_0) \in \text{gph } F$ ve $F^*(0; z) = \{0\}$ gerçekleşsin. Bu durumda öyle bir $\delta > 0$ sayısı vardır ki $\|\bar{x}\| < \delta$ sağlayan her $\bar{x} \in \mathbb{R}^n$ için $F(x_0 + \bar{x}) \neq \emptyset$ olur.

İspat. $F^*(0; z) = \{0\}$ olduğundan Önerme 4 nedeniyle $(\text{dom } F(\cdot; z))^* = \{0\}$ olur, bu durumda Önerme 5 nedeniyle $\text{dom } F(\cdot; z) = \mathbb{R}^n$ bulunur. Herhangi bir $\bar{x} \in \mathbb{R}^n$ verilsin. Bu durumda $x \in \text{dom } F(\cdot; z)$ olacağından $(\bar{x}, \bar{y}) \in K_{\text{gph } F}(z)$ içermesini sağlayan bir \bar{y} noktası vardır. Dolayısıyla Tanım 3'teki Eşitlik (2) yardımıyla $\bar{x} = \gamma(x - x_0)$ ve $\bar{y} = \gamma(y - y_0)$ olacak biçimde bir $\gamma > 0$ sayısı ve bir $(x, y) \in \text{gph } F$ elemanı vardır. Eğer $\delta = \frac{1}{\gamma} > 0$ olarak seçilirse $0 \leq \lambda \leq \delta$ sağlayan her λ için $\text{gph } F$ kümesinin konveks olması ve $0 \leq \lambda \gamma \leq 1$ nedeniyle

$$(x_0 + \lambda \bar{x}, y_0 + \lambda \bar{y}) = (x_0 + \lambda \gamma(x - x_0), y_0 + \lambda \gamma(y - y_0)) = ((1 - \lambda \gamma)x_0 + \lambda \gamma x, (1 - \lambda \gamma)y_0 + \lambda \gamma y) \in \text{gph } F$$

içermesi gerçekleşir. Bu ise $F(x_0 + \lambda \bar{x}) \neq \emptyset$ olması demektir. Öte yandan $i = 1, 2, \dots, n + 1$ olmak üzere öyle uygun $\tilde{x}_i \in \mathbb{R}^n$ vektörleri bulunabilir ki $S = \{\lambda_1 \tilde{x}_1 + \lambda_2 \tilde{x}_2 + \dots + \lambda_{n+1} \tilde{x}_{n+1} : \lambda_i \geq 0 \text{ ve } \sum_{i=1}^{n+1} \lambda_i = 1\}$ şeklinde oluşturulan konveks küme (bu tür kümelere n -boyutlu simpleks denir) orijini bir iç nokta olarak içerir [10, s.123]. Yani \mathbb{R}^n 'de öyle $n + 1$ tane \tilde{x}_i vektörleri bulunabilir ki bu vektörlerin konveks örtüsü olan S konveks kümesi için $0 \in \text{int } S$ gerçekleşir. Bu durumda bu vektörlerin boyları istenildiği kadar kısaltılsa da $0 \in \text{int } S$ sağlanır. Dolayısıyla $i = 1, 2, \dots, n + 1$, olmak üzere $0 < \lambda_i < \delta$ şeklinde seçilen uygun λ_i sayıları yardımıyla tanımlanan $\bar{x}_i = \lambda_i \tilde{x}_i$ vektörleri için $F(x_0 + \bar{x}_i) \neq \emptyset$ gerçekleşir. Böylece orijinin δ komşuluğundaki her \bar{x} noktası yani $\|\bar{x}\| < \delta$ sağlayan her \bar{x} noktası, $\lambda_i \geq 0$ ve $\sum_{i=1}^{n+1} \lambda_i = 1$ olmak üzere $\bar{x} = \lambda_1 \bar{x}_1 + \lambda_2 \bar{x}_2 + \dots + \lambda_{n+1} \bar{x}_{n+1}$ biçiminde ifade edilebilir. Bu durumda $\|\bar{x}\| < \delta$ sağlayan her \bar{x} noktası için Tanım 2'deki Eşitlik (1) kullanılarak

$$F(x_0 + \bar{x}) = F\left(\sum_{i=1}^{n+1} \lambda_i(x_0 + \bar{x}_i)\right) \supseteq \sum_{i=1}^{n+1} \lambda_i F(x_0 + \bar{x}_i) \neq \emptyset$$

elde edilir.

Sonuç 3. $x \in \mathbb{R}^n$, $y \in \mathbb{R}^m$ ve A bir $r \times n$ matris, B bir $r \times m$ matris, $U = \{u \geq 0 : B^T u \leq 0\}$ olmak üzere $U \subseteq \text{Ker } A^T$ gerçekleşsin. Bu durumda $Ax - By \leq 0$, $y \geq 0$ eşitsizlik sistemi herhangi bir x için y 'ye göre çözülebilir. Burada A^T ile A matrisinin transpozunu ve $\text{Ker } A$ ile de A matrisinin çekirdeği gösterilmektedir.

İspat. Grafığı $\text{gph } F = \{(x, y) : Ax - By \leq 0, y \geq 0\}$ olan polihedral küme-değerli F dönüşümünü göz önüne alalım. $\text{gph } F$ kümesi tanımı gereği \mathbb{R}^{n+m} uzayında polihedral bir küme olduğu için F dönüşümü konvekstir. $0 := (0, 0) \in \text{gph } F$ olduğu açıktır. Dikkat edilirse Teorem 2'nin ifadesinde bulunan $F^*(0; z)$ ifadesi Eşitlik (4)'teki $y^* = 0$ haline denk gelmektedir. Dolayısıyla $x_0 = 0, y_0 = 0$ ve Eşitlik (4)'te $y^* = 0$ alınırsa Teorem 2'nin koşulları sağlanır. Öte yandan Teorem 1'de $z_0 = (0, 0)$ ve $y \in \mathbb{R}^m$ olarak alınırsa $K_{\text{gph } F}(z_0)$ konisinin dual konisi

$$\begin{aligned} K_{\text{gph } F}^*(0) &= \{(x^*, y^*) : x^* = -A^T u, y^* = B^T u + v, \\ &0 \leq u \in \mathbb{R}^r, 0 \leq v \in \mathbb{R}^m\} \\ &= \{(-A^T u, B^T u + v) : 0 \leq u \in \mathbb{R}^r, \\ &0 \leq v \in \mathbb{R}^m\} \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Bu durumda Tanım 4'teki Eşitlik (4) gereği $F^*(y^*; 0) = \{A^T u : y^* = B^T u + v, 0 \leq u \in \mathbb{R}^r, 0 \leq v \in \mathbb{R}^m\}$ olur. O halde Teorem 2 nedeniyle $F^*(0; 0) = \{0\}$ koşulunun gerçekleşmesi, $B^* u \leq 0$ koşulunun sağlayan $0 \leq u$ vektörlerinin $A^T u = 0$ eşitliğini sağlamasına denk olur. Başka bir deyişle $Ax - By \leq 0, y \geq 0$ eşitsizlik sisteminin herhangi bir $x \in \mathbb{R}^n$ için y 'ye göre çözülebilir olması için $U = \{u \geq 0 : B^T u \leq 0\}$ olmak üzere $U \subseteq \text{Ker } A^T$ kapsamının gerçekleşmesi yeterli olur.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada $x \in \mathbb{R}^n, y \in \mathbb{R}^m, y \geq 0, A$ bir $r \times n$ matris, B bir $r \times m$ matris olmak üzere bir $(x_0, y_0) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ için $Ax_0 - By_0 \leq 0$ eşitsizliğinin gerçekleşmesi durumunda $Ax - By \leq 0$ şeklinde verilen eşitsizlik sisteminin herhangi bir x için y 'ye göre çözülebilirliği problemi ele alındı. Bu problem, önce [3,5,8]'de incelenen polihedral küme-değerli dönüşümler yardımıyla farklı bir biçimde ifade edildi, sonra da [1]'de verilmiş olan yerel eşlenik küme-değerli dönüşüm kavramı kullanılarak Sonuç 3'te ifade edilen bir yeter koşul verildi. Benzer yöntem kullanılarak farklı eşitlik ya da eşitsizlik sistemlerinin çözülebilirliği veya daha genel olarak bir kapalı fonksiyon yardımıyla verilmiş bir denklemin bir noktanın komşuluğunda çözülebilirliği için yeter koşullar tespit edilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesini teşvik eden Prof. Dr. Elimhan Mahmudov'a ve kıymetli eleştirileriyle makaleyi değerlendirerek son halini almasını sağlayan hakemlere teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] Pshenichnyi, B.N. (1972). Convex multivalued mappings and their conjugates. *Kibernetika*, 3, 94-102.
- [2] Rockafellar, R.T. (1970). Convex analysis. Princeton University Press.

- [3] Mahmudov, E.N. and Psenichnyi, B.N. (1979). Polyhedral mappings. *Izvestija Akademii Nauk Azerbaidzanskoi SSR. Serija Fiziko-Tehniceskii i Matematiceskih, Nauk*, 2, 10-15.
- [4] Mahmudov, E.N. and Değer, Ö. (2005). On an optimization problem described by multivalued mappings and duality. *Applied and Computational Mathematics an International Journal*, 4(2),192-199.
- [5] Değer, Ö. (2009). Polihedral dahil etmelerde optimallik için gerek ve yeter koşullar. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Türkiye.
- [6] Değer, Ö. (2011). On optimality conditions for a convex optimization problem with polyhedral discrete inclusions. *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Fizik Astronomi Dergisi*, (N.S.) 3 (2008/09), 109-118.
- [7] Mahmudov, E.N., Demir, S. and Değer, Ö. (2016). Optimization of third-order discrete and differential inclusions described by polyhedral set-valued mappings. *Applicable Analysis, An International Journal*, 95(9), 1831-1844.
- [8] Mahmudov, E.N. (2011). Approximation and optimization of discrete and differential inclusions. Elsevier.
- [9] Pshenichnyi, B.N. (1980). Convex analysis and extremal problems. Nauka, Moscow, (Russian).
- [10] Gamkrelidze, R.V. (1978). Principles of optimal control theory. *Mathematical Concepts and Methods in Science and Engineering 7*, Springer US.

Infusion or Decoction Extracts of *Helianthus annuus* Leaves: Potential Inhibitors for QS system and Biofilm Formation in *Pseudomonas aeruginosa*

Helianthus annuus Yapraklarının İnfüzyon veya Dekokasyon Özütleri: *Pseudomonas aeruginosa*'nın QS Sistemi ve Biyofilm Oluşumu Üzerine Potansiyel İnhibitörler

Arhun Ali BALKAN¹, Ayla YILDIZ¹, Didem BERBER²,
Barış GÖKALSIN¹, Nüzhet Cenk SESAL¹

¹Marmara University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Istanbul, Turkey

²Maltepe University, Fine and Arts Faculty, Gastronomy and Culinary Department, Marmara Eğitim Koyu, Istanbul, Turkey.

Abstract

Pseudomonas aeruginosa is one of the drug-resistant opportunistic pathogens with the ability to form biofilm and to produce a number of virulence factors via Quorum Sensing (QS) regulation. Most researchers have focused on QS inhibition to overcome the drug resistance problem. QS inhibitor molecules are investigated from natural resources. In the present study, anti-QS activities of ethyl acetate extracts of decoction and infusion samples from *Helianthus annuus* leaves were tested on biosensor strains of *P. aeruginosa* (*lasB-gfp*, *rhlA-gfp* and *pqsA-gfp*), as well as anti-biofilm activities on PAO1 wild type. *H. annuus* leaf samples were firstly infused or decocted and then extracted with ethyl acetate. The efficacies of infusion or decoction extracts were examined at the concentrations of 240, 120, and 60 µg/ml in 96-well microplates and evaluated in Citation 3 multimode microplate reader (Biotek). The inhibition rates of decoction extracts were recorded as 70.61% for *las*, 44.09% for *rhl* and 83.77% for *pqs* system at 240 µg/ml. The biofilm inhibition percentages of the extracts were determined to be 50.82% (±1.36). Moreover, inhibition rates for infusion extracts were detected as 62.08% for *las*, 45.15% for *rhl* and 77.79% for *pqs*, and 53.88% (±3.94) for biofilm formation. In conclusion, the potential efficacies of the extracts of decocted or infused *H.annuus* leaves were demonstrated on QS system and biofilm formation of *P. aeruginosa*. However, there is a need for more detailed investigations and determination of the active substances that have QSI and anti-biofilm effect.

Keywords: *Helianthus annuus*, *las* system, *rhl* system, *pqs* system, quorum sensing inhibitor, anti-biofilm

Öz

Pseudomonas aeruginosa, Quorum Sensing (QS) regülasyonu yoluyla biyofilm oluşturma ve bir dizi virülans faktörü üretme kabiliyetine sahip ilaca dirençli fırsatçı patojenlerden biridir. Çoğu araştırmacı, ilaç direnci sorunlarının üstesinden gelmek için QS inhibisyonuna odaklanmıştır. QS inhibitör molekülleri doğal kaynaklardan araştırılmaktadır. Bu çalışmada, *Helianthus annuus* yapraklarından elde edilen dekoksasyon ve infüzyon örneklerinin etil asetat özütlерinin anti-QS aktiviteleri, *P. aeruginosa*'nın biyosensör suşları (*lasB-gfp*, *rhlA-gfp* ve *pqsA-gfp*) üzerinde ve ayrıca anti-biyofilm aktiviteleri PAO1 yabancıl tipinde test edilmiştir. *H. annuus* yaprak örnekleri önce infüze veya dekokte edildi ve daha sonra bunların etil asetat ile özütü çıkarıldı. İnfüzyon veya dekoksasyon özütlерinin etkisi 96 kuyucuklu mikroplakalarda 240, 120 ve 60 µg/ml konsantrasyonlarında incelendi ve Citation 3 multimod mikroplaka okuyucuda (Biotek) değerlendirildi. Dekoksasyon özütlерinin inhibisyon oranları, 240 µg/ml'de *las* için %70.61, *rhl* için %44.09 ve *pqs* sistemi için %83.77 olarak kaydedildi. Özütlерin biyofilm inhibisyon yüzdelerinin ise %50.82 (± 1.36) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca infüzyon özütleri için inhibisyon oranları *las* için % 62.08, *rhl* için% 45.15 ve *pqs* için % 77.79 ve biyofilm oluşumu için %53.88 (± 3.94) olarak tespit edildi. Sonuç olarak, infüze veya dekokte edilmiş *H.annuus* yaprak özütlерinin potansiyel etkileri *P. aeruginosa*'nın QS sistemi ve biyofilm oluşumu üzerinde gösterilmiştir. Bununla birlikte, QSI ve anti-biyofilm etkiye sahip aktif maddelerin daha ayrıntılı araştırmalarına ve belirlenmesine ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: *Helianthus annuus*, *las* sistemi, *rhl* sistemi, *pqs* sistemi, quorum sensing inhibitör, anti-biyofilm

I. INTRODUCTION

With the discovery of penicillin, significant progress has been achieved in the clinical practice and new antibiotic classes have been discovered in the period defined as the golden age of antibiotics (1, 2). These antibiotics have been effective in the treatment of many infections. Due to the cost-effectiveness and non-toxicity of these antibiotics produced from natural products and derivatives, they have been traditionally prescribed by physicians since ancient times (2). On the other hand, an increase in drug resistance of pathogenic bacteria because of excessive or incorrect use of conventional antibiotics has become a global health problem. Moreover, major

economic losses and high mortality and morbidity rates have been reported in patients due to the high prevalence of antibiotic-resistant strains. The Center for Disease Control and Prevention (CDC) reported that an average of 23,000 patients died in the United States due to lack of effective treatment options due to drug resistance, and approximately \$ 20 billion was spent per year for the treatment of antibiotic resistance-related infections (3). It has been also reported that more than 58,000 infants died in 2013 due to antibiotic resistance in India. (4). Drug resistance, unfortunately, causes difficulties in the treatment process of some hospital-acquired infections and immunosuppressive chronic diseases such as cystic fibrosis, and antibiotics remains insufficient. From this point of view, it seems impossible to prevent the increase of resistance to antibiotics. In clinical practice, most of the prescribed drugs are modifications of existing antibiotics and are only short-term solutions (5). Therefore, innovative alternative treatment approaches should be discovered to overcome antibiotic resistance problem.

In 2017, the World Health Organization (WHO) published a list of antibiotic priorities for critical, high, and moderate pathogens, highlighting the need for new antibiotics. According to this list, *Pseudomonas aeruginosa* is critical for the research and development of new antibiotics (5). According to CDC data, 13% of total *P. aeruginosa* infections and 400 deaths due to these infections are associated with multiple drug resistance (3). Therefore, it is believed that novel non-conventional antibiotic compounds can still be obtained from natural products. However, there are strict criteria for novel alternative compounds particularly such as effectiveness and safety criteria in drug discovery (drug size, ethical concerns, clinical trials, wide spectrum activity, and non-toxicity). In clinical practice, the number of natural-based antibiotics (approximately 28,000) versus their utilization rates (0.1%) is very low, indicating difficulties in drug discovery (2).

Recently, it has been proposed to combat against antibiotic resistance problem via antivirulence strategies. This strategy does not directly kill bacteria but prevents the host from bacterial infections and damages caused by bacteria. Researchers suggested that antivirulent drugs can potentially be utilized synergistically in combination with already established or newly discovered antimicrobials to prolong the life of these drugs. It is well known that many bacteria can secrete several virulence factors and form a biofilm resulting in worsening the course of the disease (6, 7). The bacterial communication mechanism, Quorum Sensing (QS), is responsible for the regulation of these characteristic features that negatively affect the pathogenesis of diseases. In this way, bacteria can combat against the host's immune system. Bacteria that reach a certain level of density secrete small diffusible chemical molecules [acyl homoserine lactones (AHLs), auto-inducing peptides (AIPs) and auto-inducers 2 (AI-

2)], which all of them are called autoinducers (AI). These signals are also perceived by other bacteria and cause them to behave in a coordinated manner (8-12). Bacteria in the biofilm form are resistant to antibiotics up to 10-1000 times compared to planktonic species (13).

Pseudomonas aeruginosa is a drug-resistant opportunistic pathogen and may cause both community- and hospital-acquired infections. This bacterium especially causes nosocomial infections such as cystic fibrosis, pneumonia, and also infections associated with the urinary tract, surgical site, bloodstream, and skin (14). It has been reported that *P. aeruginosa* has four hierarchically related QS systems: *las*, *rhl*, *pqs* and *iqs* (15, 16). Erickson *et al.* (2002) reported QS related AHL, virulence factors and *lasI-lasR* transcripts in the sputum specimens of patients with cystic fibrosis (17). It has been well established that the formation of biofilm structure and secretion of many virulence factors in *P. aeruginosa* affect adversely the course of diseases and these features are regulated by QS mechanism. Nevertheless, established biofilm formation cannot be ameliorated easily. Antivirulence approaches have been proposed in recent years and one of them is inhibition of QS by natural or synthetic molecules. Several QS inhibitors (QSI) obtained from various organisms in nature (plant, algae, animal, bacteria, etc.) are included in the literature (18).

Since ancient times, plants have been used for the treatment of several diseases in folk medicine. Traditional medicine and complementary/alternative medicine are considered as primary health care in countries where healthcare settings are limited. On the other hand, people in modern countries also prefer to use phytomedicine due to positive health effects. It has been reported that 75-90% of the world's population take advantage of plant and plant extracts as a primary health source. Various parts of plants have been used for treatment by direct consumption, boiling (decoction), adding to boiled water (infusion) or as a poultice (19, 20). Our knowledge of herbal medicine depends on the trial and error experiments that have been passed on from generation to generation and information about differences in the ways of preparation of herbal medicines (21-23). The widespread use of plant extracts in the treatment of diseases depends on the active compounds they contain. Various bioactive substances especially secondary metabolites from plants provide a continuous source of potential for new drug compounds (20, 24). About 25% of prescribed drugs are of plant origin directly or indirectly (21). Nowadays, bioactive substances from plants can be isolated and their probable side effects or toxicity and appropriate dosage for medication can be determined. For this reason, anti-QS potentials of plant species collected from different

localities are investigated as direct extracts or based on the compounds they contain (25).

Helianthus annuus L. (Asteraceae) has an ethnobotany value of 3000 years and has been used as a traditional medicine in Asian and European countries. Different parts of *H. annuus* have been traditionally used for the treatment of several diseases. *H. annuus* seeds have been reported to be used in the treatment of heart disease, respiratory infections, cough, whooping cough and common colds (20). Also, a decoction of seeds in Iraq is used as an expectorant and diuretic (26). In India, its flowers and leaves in bronchiectasis, in Europe its seeds in pulmonary infections, in Russia its leaves in fever, in America its leaves in kidney diseases, in Mexico its roots have been used in the treatment of cuts and wounds (20). Tea prepared from leaves has anti-hemorrhagic, diuretic, expectorant, and antipyretic effects. On the other hand, tea prepared from flowers of *H. annuus* has been reported to be utilized in malaria and lung diseases. Pulverized leaves are known to be applied to the wound and snake-spider bites as a poultice (27). Tinctures of *Helianthus* flowers and leaves are used to treat malaria fever and bronchiectasis. It has also been reported that *H. annuus* roots are boiled and used as a hot bath in rheumatic pain (20, 28, 29). In Morocco, the roots and extracts of *H. annuus* have been reported to be used as hypoglycemic, gastrointestinal stimulant, diaphoretic, antihelmintic and emenagogue (30). Also, *H. annuus* was involved in the composition of some pomades in pharmacy. Its oil has been reported to be used as a constituent in skin-protective medicinal products in newborns (31) and dry skincare for its softening and noncomedogenic properties (32). Considering this ethnobotanical value of *H. annuus L.*, there are several studies evaluating biological activities such as anti-inflammatory, anti-malarial, anti-asthmatic, anti-diabetic, anti-hypertensive, anti-oxidant, anti-tumor, antioxidant, and antimicrobial (33). Many studies have been conducted on the isolation of chemical compounds responsible for biological activities belonging to *H. annuus L.* (20, 29). Most of these studies were carried out using aqueous extracts from leaves or extracts obtained from solvents. The number and variety of isolated compounds indicate the complexity of these extracts and the ability of *H. annuus L.* to produce secondary metabolites. The phytochemicals of *H. annuus* leaves, stems, and roots were reported as flavonoids, phenolic acids, terpenoids, steroids, saponins, and tannins (20, 33). On the other hand, according to our knowledge, there is no much study for QS activity of *H. annuus* leaves. *H. annuus* leaves are normally discarded after gathering sunflower oil from the plant and they are not used. In this context, *H. annuus* leaves have importance for being plant-based material with low cost and also they have potential biological activities. The utilization of leaves from this plant will provide also add value to the economy and also pharmaceutical industry.

The goal of this study to evaluate the QS inhibitory and anti-biofilm potentials of *H. annuus* leaves obtained from Thrace region. For this purpose, anti-QS and anti-biofilm activities of ethyl acetate extracts of the decoction and infusion samples from *H. annuus* leaves were examined on the biosensor strains of *P. aeruginosa* (*lasB-gfp*, *rhlA-gfp* and *pqsA-gfp*) and *PAO1* wild type strain, respectively.

II. MATERIAL AND METHODS

2.1. Sample Collection and Obtaining Ethyl Acetate Extracts from *H.annuus* leaves

The samples of *H.annuus* leaves were washed and dried on air. 10 gram of each sample was weighed and pulverized. Then, these samples were divided into two groups called the infusion and decoction group. The samples belonging to two groups were taken into sterile bottles. The ethyl acetate as a solvent was utilized. After the addition of the solvent, the bottles were placed in the dark for three days. The solvent evaporation was carried out in a rotary evaporator at 40 °C. The extracts of *H.annuus* leaves were weighed again to obtain the weight of crude extracts. These extracts were then dissolved in 100% DMSO with a stock concentration of 16 mg/ml and diluted with physiological saline for anti-QS and anti-biofilm tests.

2.2. Bacterial Strains

lasB-gfp, *rhlA-gfp* and *pqsA-gfp* biomonitor strains with *lasR*, *rhlR*, *pqsR*-regulated promoters, and green fluorescent protein (gfp) gene were developed by Hentzer *et al.* (34), Yang *et al.* (35) and Yang *et al.* (36). These strains were utilized in the experiments to evaluate QS inhibition. As growth medium, M9 minimal media supplemented with 2.5 mg/l thiamine, 0.5% (wt/vol) glucose, and 0.5% (wt/vol) casamino acids, was utilized.

2.3. QSI Screening

A modified method was carried out for the QSI screenings (37). The growth medium mentioned above was put into wells of 96-well black microplates (Nunc, Thermo Scientific). After two-fold serial dilutions of extracts were made, test concentrations of applied extracts were 240 µg/ml, 120 µg/ml and 60 µg/ml. Then, the overnight cultures of *lasB-gfp*, *rhlA-gfp* and *pqsA-gfp* biomonitor strains with an OD 450 nm of 0.1 were put into the test, positive and negative control wells. The blank wells were also included in the experiments. Cytation 3 multimode microplate reader (Biotek) was utilized for the monitorization of the bacterial growth and *gfp* expressions. Data were recorded for 16 hours by taking absorbance and fluorescence measurements every 30 minutes. The fluorescence expressions of biomonitor strains were measured at 485 nm excitation and 535 nm emission wavelengths.

2.4. Biofilm Experiments

P.aeruginosa PAO1 was incubated overnight at 37°C in the growth medium. Biofilm experiments were done in 96-well microplates. The ethyl acetate extracts of the decoctions and infusions from *H. annuus* leaves were tested at the dosages of 240, 120 and 60 µg/ml. The experiments included negative, positive control, and blind wells. The tests were performed in three replicates. The biofilm forms were stained with 0.1% crystal violet and measured at OD 590 nm in the microplate reader (Cytation 3-BioTek).

III. RESULTS

3.1. Findings on the QS and Biofilm Inhibition of Ethyl Acetate Extracts of Decoction from Leaves of *H.annuus*

The inhibition rates for the extracts are given in **Table 1**. The highest inhibition rates on *las*, *rhl* and *pqs* system were recorded at the highest concentration (240 µg/ml) by the treatment of ethyl acetate extracts of decoction samples from leaves of *H.annuus*. The inhibition percentages were 70.61 for *las*, 44.09 for *rhl* and 83.77 for *pqs*, respectively. The anti-biofilm effect of the same extracts was detected to be 50.82% (±1.36) at the 240 µg/ml. Dose response curves of *lasB-gfp*, *rhlA-gfp* and *pqsA-gfp* biomonitor strains of *P. aeruginosa* treated with ethyl acetate extracts of decoction from leaves of *H.annuus* are shown in **Figure 1-4**.

Table 1. The inhibition rates for all doses (240, 120 and 60 µg/ml) against biosensor strains of *P. aeruginosa* (*lasB-gfp*, *rhlA-gfp* and *pqsA-gfp*) on QS system and inhibition rates against PAO1 wild type on biofilm formation.

Strains		Concentrations	The inhibition rates % of ethyl acetate extracts of decoction from leaves of <i>H. annuus</i>
QS inhibition	<i>lasB-gfp</i>	240 µg/ml	70.61
		120 µg/ml	55.95
		60 µg/ml	41.50
	<i>rhlA-gfp</i>	240 µg/ml	44.09
		120 µg/ml	27.38
		60 µg/ml	13.85
<i>pqsA-gfp</i>	240 µg/ml	83.77	
	120 µg/ml	68.05	
	60 µg/ml	55.56	
Biofilm inhibition	PAO1 wild type	240 µg/ml	50.82 (±1.36)
		120 µg/ml	25.27 (±2.41)
		60 µg/ml	19.79 (±2.15)

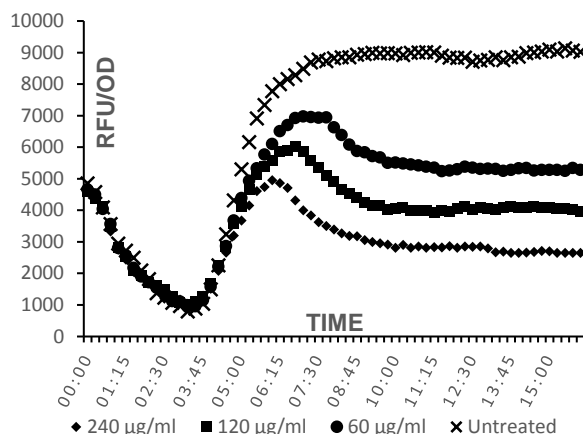


Figure 1. QS inhibition of *lasB-gfp* monitor strains treated extracts of decoction from leaves of *H. annuus* at certain concentrations of 240, 120 and 60 µg/ml. Data are shown as relative fluorescence unit over OD 450 nm.

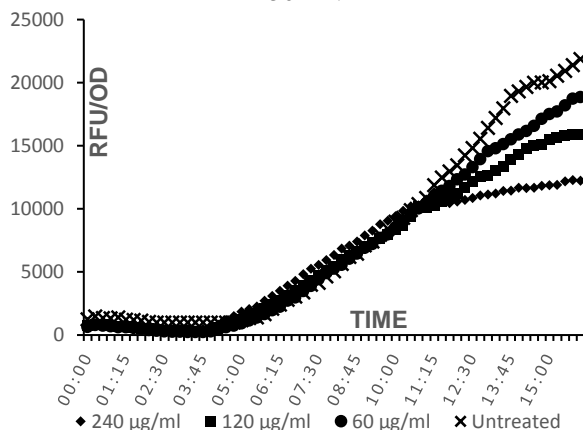


Figure 2. QS inhibition of *rhlA-gfp* monitor strains treated extracts of decoction from leaves of *H. annuus* at certain concentrations of 240, 120 and 60 µg/ml. Data are shown as relative fluorescence unit over OD 450 nm.

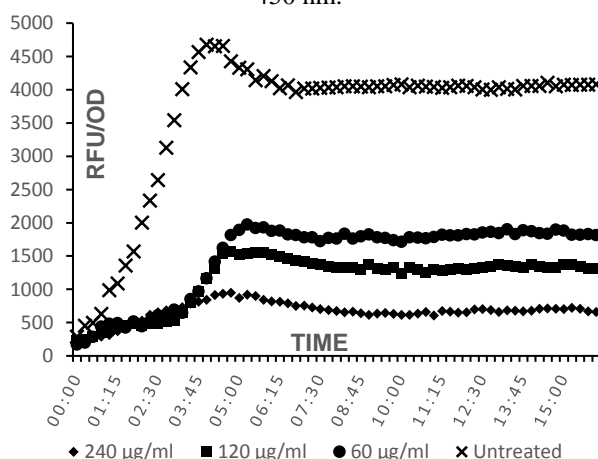


Figure 3. QS inhibition of *pqsA-gfp* monitor strains treated extracts of decoction from leaves of *H. annuus* at certain concentrations of 240, 120 and 60 µg/ml. Data are shown as relative fluorescence unit over OD 450 nm.

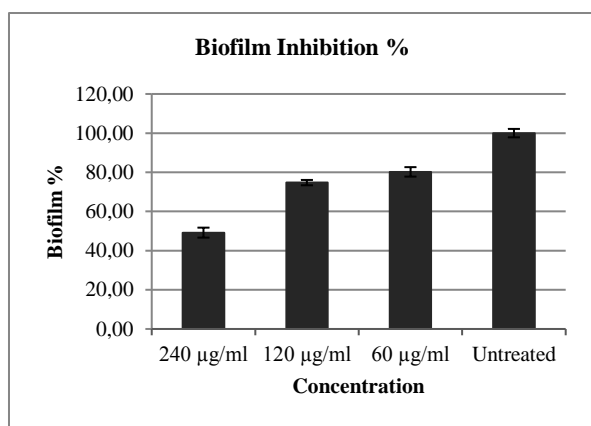


Figure 4. Anti-biofilm properties of ethyl acetate extracts of decoction from leaves of *H. annuus* at certain concentrations of 240, 120, 60 µg/ml against *PAOI* strain.

3.2. Findings on the QS and Biofilm Inhibition of Ethyl Acetate Extracts of Infusion from Leaves of H.annuus

The inhibition rates for the extracts are given in **Table 2**. The ethyl acetate extracts of infusion samples from leaves of *H.annuus* potentially inhibited three QS system of *P. aeruginosa* at the concentration of 240 µg/ml. These inhibition rates were recorded as 62.08% for *las*, 45.15% for *rhl* and 77.79% for *pqs*, respectively. The inhibition ratio of the same extracts on the biofilm formation of *PAOI* strain was found to be 53.88% (±3.94) at the concentration of 240 µg/ml. Dose response curves are shown in **Figure 5-8**.

Table 2. The inhibition rates for all doses (240, 120 and 60 µg/ml) against biosensor strains of *P. aeruginosa* (*lasB-gfp*, *rhlA-gfp* and *pqsA-gfp*) on QS system and inhibition rates against *PAOI* wild type on biofilm formation.

Strains		Concentrations	The inhibition rates % of ethyl acetate extracts of infusion from leaves of <i>H.annuus</i>
QS inhibition	<i>lasB-gfp</i>	240 µg/ml	62.08
		120 µg/ml	48.20
		60 µg/ml	37.72
	<i>rhlA-gfp</i>	240 µg/ml	45.15
		120 µg/ml	30.15
		60 µg/ml	17.81
	<i>pqsA-gfp</i>	240 µg/ml	77.79
		120 µg/ml	68.45
		60 µg/ml	54.29
Biofilm inhibition	<i>PAOI</i> wild type	240 µg/ml	53.88 (±3.94)
		120 µg/ml	25.42 (±2.21)
		60 µg/ml	12.78 (±2.20)

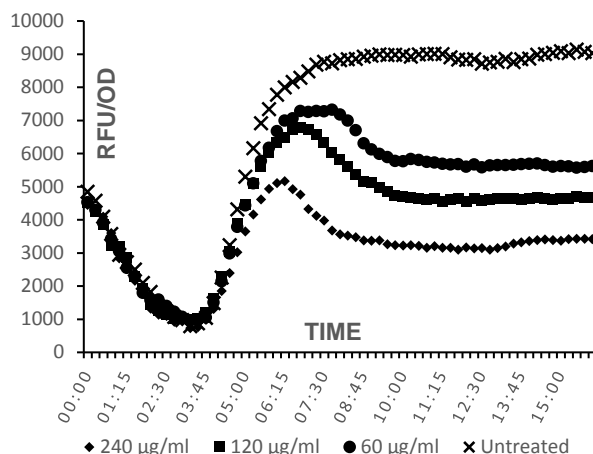


Figure 5. QS inhibition of *lasB-gfp* monitor strains treated extracts of infusion from leaves of *H. annuus* at certain concentrations of 240, 120 and 60 µg/ml. Data are shown as relative fluorescence unit over OD 450 nm.

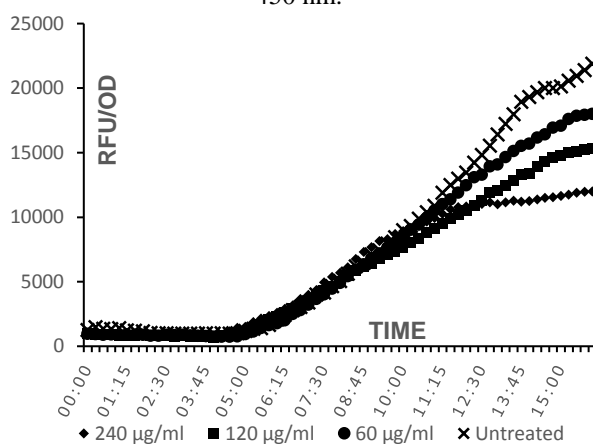


Figure 6. QS inhibition of *rhlA-gfp* monitor strains treated extracts of infusion from leaves of *H. annuus* at certain concentrations of 240, 120 and 60 µg/ml. Data are shown as relative fluorescence unit over OD 450 nm.

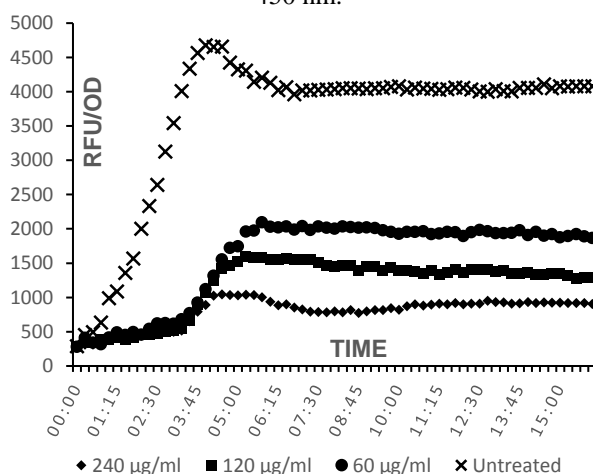


Figure 7. QS inhibition of *pqsA-gfp* monitor strains treated extracts of infusion from leaves of *H. annuus* at certain concentrations of 240, 120 and 60 µg/ml. Data are shown as relative fluorescence unit over OD 450 nm.

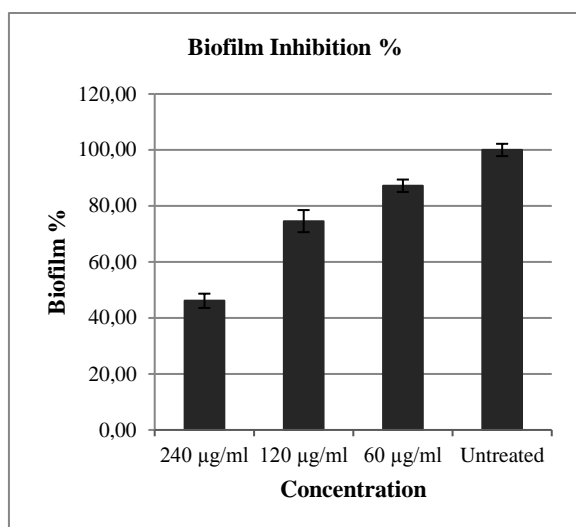


Figure 8. Anti-biofilm properties of ethyl acetate extracts of infusion from leaves of *H. annuus* at certain concentrations of 240, 120, 60 µg/ml against *PAOI* strain.

IV. DISCUSSION

To our knowledge, *H. annuus* leaves have not been evaluated before for anti-QS and anti-biofilm properties against *P. aeruginosa*. In the present study, the potential inhibitory efficacies of the ethyl acetate extracts of the decoction and infusion samples obtained from *H. annuus* leaves on *las*, *rhl* and *pqs* systems and biofilm formation of *P. aeruginosa* were demonstrated.

As known, the therapeutic effect of traditional antibiotics depends on the disruption of the growth cycle, cell wall and protein synthesis, DNA replication. These treatment approaches have been considerably effective over the years but then, overuse or misuse of these antibiotics led to emergence of resistant populations. Therefore, the need for alternative treatment strategies and new antibiotic components have come into prominence (6, 38-40). In many studies, QS inhibitors have been investigated from natural sources such as plants, animals, and algae and they are still currently under investigation. Also, studies on synthetic QS inhibitors are also available in the literature (41). In the view of many plants have various biological activities such as antibacterial, anti-tumor and anti-fungal, it is thought that plants may have also anti-QS effects. Therefore, there is increasing interest in plants for their probable potential for QS inhibition. At this point, inhibition of QS through ethnobotanically valuable plants with abundant bioactive potential can be an alternative strategy to the global antibiotic resistance problem. *H. annuus* is one of these plants that utilized for many years traditionally and there are several studies evaluating its biological potential such as anti-inflammatory, antioxidant, antitumor, antiasthmatic, antipyretic, antihypoglycemic, antifungal and antimicrobial activities from seed oil, shoots and tinctures (20).

In the literature, there are many studies about the antibacterial potential of different parts of this plant. The antibacterial properties of *H. annuus* were studied against various bacteria. However, there are no many studies about antibacterial properties of *H. annuus* against *P. aeruginosa*. The methanol extracts of *H. annuus* seeds were reported to be effective against some Gram-negative bacteria, and Gram-positive bacteria (29). In another study, *H. annuus* seed oil was found to be successful against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* and *Candida albicans* (42). On the other hand, the aqueous extracts of *H. annuus* were found to be ineffective against *E. coli*, *B. subtilis*, and *S. aureus* but showed high activity against *K. pneumonia* (28). The antibacterial potentials of *H. annuus* seem to be depending on several parameters such as tested bacterial species, used solvents and/or the parts of the plant. These studies reveal the fact that differences in the sensitivity of Gram-positive and Gram-negative bacteria might be dependent on the cell wall structure or expected/unexpected effect might be from different compounds obtained from various solvents.

In a recent study, QSI activity of sunflower oil has been reported. The researchers evaluated the QSI potential of sunflower oil depending on violacein production and they showed inhibitory effects of sunflower oil in a dose-dependent manner (43). In the literature, QS inhibition is generally assessed by the production of violacein pigment in the *C. violaceum* mutant strain *CV026*, which cannot synthesize AHL. On the other hand, fluorescence-based biosensor strains provide a direct evaluation of QS-related gene expression. In the present study, the inhibitory effects of tested extracts on QS system of *P. aeruginosa* were tested via biosensor strains (*lasB-gfp*, *rhlA-gfp* and *pqsA-gfp*).

Infusions and decoctions are used in modern phytotherapy where the active ingredients are water-soluble. The decoctions are made by boiling plant in water for some time to remove the soluble components. A mixture of 2 and 12 herbal compounds obtained by boiling in water is a conventional herbal dosage form commonly used. The decoctions are normally appropriate for rigid plant materials such as barks, roots and sometimes may also be prepared from plants with low water-soluble components. Since water is not evaluated amongst good solvents for most of the active ingredients in plants, a relatively short extraction time (typically 5 to 10 minutes) used in their preparations for decoctions and infusions (44). In this study, both decoction and infusion methods were tested because different active compounds from *H. annuus* leaves may have anti-QS and anti-biofilm effects. In addition, extraction with an additional ethyl acetate solvent was carried out to reveal more ingredients that are active.

Amongst tested concentrations, the maximum inhibitory effect was recorded at 240 µg/ml in our study. The more prominent potential inhibitory effects

were recorded against the *las* (70.61%) and *pqs* (83.77%) systems than *rhl* (44.09%) system for the decoction extracts. Similarly to the extracts of the decoction samples, the most inhibitory effects were detected for the *pqs* system (77.79%) by the extracts of infusion samples from the leaves of *H.annuus*. For these extracts, the inhibition rates in *las* and *rhl* system were detected to be 62.08% and 45.15%, respectively. Approximately 9% difference in inhibition percentages on *las* system were observed between decoction (70.61%) and infusion (62.08%) extracts. Also, a 6% difference was observed for *pqs* system between decoction (83.77%) and infusion (77.79%) extracts. From these results, our decoction and infusion extracts were both more effective on *pqs* system and also on *las* system but slightly effective on *rhl* system. The inhibitory effect of decoction and infusion extracts from leaves of *H.annuus* on *rhl* system was found to be similar (44.09% and 45.15%, respectively). As in other test groups, most inhibition by the extracts against *rhl* system was obtained at the concentration of 240 µg/ml. Taken together, we may suggest that decoction extracts were more effective on *las* and *pqs* systems. Biofilm formation was also inhibited by the tested extracts and inhibition ratios were similar between the extracts (50.82% and 53.88%).

On the other side, *H.annuus* is mainly used as the source of sunflower oil and its leaves are not normally used for any purpose and they are discarded. In this sense, the re-evaluation of leaves of this plant that will be disposed may provide highly possible add value to the country's economy. *H. annuus* leaves may also ensure beneficial effects in terms of health without any cost. Therefore, there are many positive aspects of the use of *H. annuus* leaves in healthcare because the leaves are plant-based material and have cost-effectiveness as well as their potential therapeutic aspects and evaluation of the material to be discarded.

Given the ethnobotanical value and biological activities of *H. annuus*, and the fact that it is a plant-based and low-cost material, the ethyl acetate extracts of decoctions and infusions from *H. annuus* leaves may alternatively be utilized for the inhibition of QS system and biofilm formation of *P. aeruginosa*.

V. CONCLUSIONS

In the present study, we demonstrated the potential inhibition of the ethyl acetate extracts of the decoction and infusion samples from the leaves of *H.annuus* on *P. aeruginosa las*, *rhl* and *pqs* QS system and biofilm formation. The fact that *H. annuus* has anti-QS and anti-biofilm activities indicates that it may have potential raw material in drug discovery. Considering the abundance of our country in terms of sunflowers, *H.annuus* extracts and/or its constituents can be easily integrated into the pharmaceutical industry. However, there is a need for more detailed investigations and determination of the active substances that have QSI effect.

REFERENCES

- [1] Butler, M.S., Blaskovich, M.A. and Cooper, M.A. (2013). Antibiotics in the clinical pipeline in 2013. *J. Antibiot. Res.*, 66(10), 571-591.
- [2] Wright, G.D. (2017). Opportunities for natural products in 21 st century antibiotic discovery. *Nat. Prod. Rep.*, 34(7), 694-701.
- [3] Centres for Disease Control and Prevention (US). (2013). Antibiotic resistance threats in the United States.
- [4] Pandhare, A. (2015). Bacterial resistance in India: Studying plasma antibiotic levels. *IJCCM*, 19(10), 574.
- [5] World Health Organization. (2017). Antibacterial agents in clinical development. World Health Organization: Geneva, Switzerland.
- [6] Rasko, D.A. and Sperandio, V. (2010). Anti-virulence strategies to combat bacteria-mediated disease. *Nat. Rev. Drug Discov.*, 9(2), 117-128.
- [7] Dickey, S.W., Cheung, G.Y. and Otto, M. (2017). Different drugs for bad bugs: antivirulence strategies in the age of antibiotic resistance. *Nat. Rev. Drug Discov.*, 16(7), 457.
- [8] Miller, M.B. and Bassler, B.L. (2001). Quorum sensing in bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.*, 55(1), 165-199.
- [9] Smith, R.S. and Iglewski, B.H. (2003). *Pseudomonas aeruginosa* quorum sensing as a potential antimicrobial target. *J. Clin. Investig.*, 112(10), 1460-1465.
- [10] Williams, P. and Cámara, M. (2009). Quorum sensing and environmental adaptation in *Pseudomonas aeruginosa*: a tale of regulatory networks and multifunctional signal molecules. *Curr. Opin. Microbiol.*, 12(2), 182-191.
- [11] Antunes, L.C.M., Ferreira, R.B., Buckner, M.M. and Finlay, B.B. (2010). Quorum sensing in bacterial virulence. *Microbiology*, 156(8), 2271-2282.
- [12] Rutherford, S.T. and Bassler, B.L. (2012). Bacterial quorum sensing: its role in virulence and possibilities for its control. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.*, 2(11), a012427.
- [13] Olson, M.E., Ceri, H., Morck, D.W., Buret, A.G. and Read, R.R. (2002). Biofilm bacteria: formation and comparative susceptibility to antibiotics. *Can. J. Vet. Res.*, 66(2): 86.
- [14] Driscoll, J.A., Brody, S.L. and Kollef, M.H. (2007). The epidemiology, pathogenesis and treatment of *Pseudomonas aeruginosa* infections. *Drugs*, 67(3), 351-368.
- [15] Lee, J., Wu, J., Deng, Y., Wang, J., Wang, C., Wang, J., Chang, C., Dong, Y., Williams, P. and Zhang, L.H. (2013). A cell-cell communication signal integrates quorum sensing and stress response. *Nat. Chem. Biol.*, 9(5), 339.
- [16] Lee, J. and Zhang, L. (2015). The hierarchy quorum sensing network in *Pseudomonas aeruginosa*. *Protein & Cell*, 6(1), 26-41.
- [17] Erickson, D.L., Endersby, R., Kirkham, A., Stuber, K., Vollman, D.D., Rabin, H.R., Mitchell, I. and Storey, D.G. (2002). *Pseudomonas aeruginosa* quorum-sensing systems may control virulence factor expression in the lungs of patients with cystic

- fibrosis. *Infect. Immun.*, 70(4), 1783-1790.
- [18] Kalia, V.C. (2015). Quorum sensing vs quorum quenching: a battle with no end in sight. Springer, New Delhi, India.
- [19] Yesilyurt, E.B., Simsek, I., Tuncel, T., Akaydin, G. and Yesilada, E. (2017). Marmara Bölgesi'nin bazı yerleşim merkezlerinde halk ilacı olarak kullanılan bitkiler. *Marmara Pharm. J.*, 21: 132-148.
- [20] Bashir, T., Zahara, K., Haider, S. And Tabassum, S. (2015). Chemistry, pharmacology and ethnomedicinal uses of *Helianthus annuus* (sunflower): a review. *PAB.*, 4(2), 226.
- [21] Fowler, M.W. (2006). Plants, medicines and man. *J. Sci. Food Agric.*, 86(12), 1797-1804.
- [22] Karunamoorthi, K., Jegajeevanram, K., Vijayalakshmi, J. and Mengistie, E. (2013). Traditional medicinal plants: a source of phytotherapeutic modality in resource-constrained health care settings. *J. Evid. Based Complementary Altern. Med.*, 18(1), 67-74.
- [23] Kocabas, A. (2017). Ease of phytochemical extraction and analysis from plants? *Ant. J. Bot.*, 1(2):6-31.
- [24] Jarić, S., Popović, Z., Mačukanović-Jocić, M., Djurdjević, L., Mijatović, M., Karadžić, B., Mitrović, M. and Pavlović, P. (2007). An ethnobotanical study on the usage of wild medicinal herbs from Kopaonik Mountain (Central Serbia). *J. Ethnopharmacol.*, 111(1), 160-175.
- [25] Cepni, E. and Gurel, F. (2011). Bitkilerden elde edilen anti quorum sensing bileşikleri ve yeni ilaç geliştirmedeki potansiyelleri. *Turk. J. Microbiol.*, 41 (4):131-138.
- [26] Al-douri, N.A. (2000). A survey of medicinal plants and their traditional uses in Iraq. *Pharm. Biol.*, 38(1), 74-79.
- [27] Gaur, R.K., Petrov, N.M., Patil, B.L. and Stoyanova, M.I. (Eds.). (2016). *Plant Viruses: Evolution and Management*. Springer.
- [28] Sharma, D., Lavania, A.A. and Sharma, A. (2009). *In vitro* comparative screening of antibacterial and antifungal activities of some common plants and weeds extracts. *Asian J. Exp. Sci.*, 23(1), 169-172.
- [29] Subashini, R. and Rakshitha, S.U. (2012). Phytochemical screening, antimicrobial activity and in vitro antioxidant investigation of methanolic extract of seeds from *Helianthus annuus L.* *Chem. Sci. Rev. Lett.*, 1(1), 30-34.
- [30] Bnouham, M., Mekhfi, H., Legssyer, A. and Ziyat, A. (2002). Ethnopharmacology forum medicinal plants used in the treatment of diabetes in Morocco. *Int J Diabetes & Metabolism*, 10, 33-50.
- [31] Visscher, M.O. (2009). Update on the use of topical agents in neonates. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, 9(1), 31-47.
- [32] Stoia, M. and Oancea, S. (2015). Selected evidence-based health benefits of topically applied sunflower oil. *App. Sci. Rep.*, 10, 45-49.
- [33] Guo, S., Ge, Y. and Jom, K.N. (2017). A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus L.*). *Chem. Cent. J.*, 11(1), 95.
- [34] Hentzer, M., Riedel, K., Rasmussen, T.B., Heydorn, A., Andersen, J.B., Parsek, M.R., Rice, S.A., Eberl, L., Molin, S., Høiby, M., Kjelleberg, S. and Givskov, M. (2002). Inhibition of quorum sensing in *Pseudomonas aeruginosa* biofilm bacteria by a halogenated furanone compound. *Microbiology*, 148(1), 87-102.
- [35] Yang, L., Barken, K.B., Skindersoe, M.E., Christensen, A.B., Givskov, M. and Tolker-Nielsen, T. (2007). Effects of iron on DNA release and biofilm development by *Pseudomonas aeruginosa*. *Microbiology*, 153(5), 1318-1328.
- [36] Yang, L., Rybtke, M. T., Jakobsen, T.H., Hentzer, M., Bjarnsholt, T., Givskov, M. and Tolker-Nielsen, T. (2009). Computer-aided identification of recognized drugs as *Pseudomonas aeruginosa* quorum-sensing inhibitors. *Antimicrob. Agents Chemother.*, 53(6), 2432-2443.
- [37] Bjarnsholt, T., Jensen, P. Ø., Rasmussen, T. B., Christophersen, L., Calum, H., Hentzer, M., Hougen, H.P., Rygaard, J., Moser, C., Eberl, L., Høiby, N. and Givskov, M. (2005). Garlic blocks quorum sensing and promotes rapid clearing of pulmonary *Pseudomonas aeruginosa* infections. *Microbiology*, 151(12), 3873-3880.
- [38] Walsh, C. (2003). Antibiotics: actions, origins, resistance. ASM. Press, Washington DC, USA.
- [39] Werner, G., Strommenger, B. and Witte W. (2008). Acquired vancomycin resistance in clinically relevant pathogens. *Future Microbiol.*, 3(5), 547-562.
- [40] Ventola, C.L. (2015). The antibiotic resistance crisis: part 1: causes and threats. *Pharm. Ther.*, 40(4), 277.
- [41] LaSarre, B., and Federle, M.J. (2013). Exploiting quorum sensing to confuse bacterial pathogens. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 77(1), 73-111.
- [42] Alibe, I.M. and Inuwa, B. (2012). Physicochemical and anti-microbial properties of sunflower (*Helianthus annuus L.*) seed oil. *Int. J. Sci. Technol.*, 2(4), 151-154.
- [43] Pérez-López, M., Garcia-Contreras, R., Soto-Hernández, M., Rodríguez-Zavala, J.S., Martínez-Vázquez, M., Prado-Galbarro, F.J. and Castillo-Juárez, I. (2018). Antiquorum sensing activity of seed oils from oleaginous plants and protective effect during challenge with *Chromobacterium violaceum*. *J. Med. Food*, 21(4), 356-363.
- [44] Bone, K. and Mills, S. (2012). Principles and practice of phytotherapy modern herbal medicine: Dosage and dosage forms in herbal medicine. Churchill Livingstone Elsevier. 2nd ed. 121-133.

Çatı Tipi Klimalarda Kullanılan R410A ve Alternatifi Olan Soğutucu Akışkanların Analizi

Analysis of R410A and Alternative Refrigerants Used In Roof Type Air Conditioners

Mehmet Onur OKUDAN¹ , Ayhan ONAT² 

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 34722 İstanbul, Türkiye

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 34722 İstanbul, Türkiye

Öz

Küresel ısınmanın Dünya üzerindeki etkileri her geçen gün artmaktadır. Küresel ısınma artışının hızlanmasını önlemek için regülasyonlar yayınlanmakta ve bu regülasyonlarla üretici firmaların ürünlerini geliştirmeleri ve alternatif çözümler bulmaları istenmektedir. Bu regülasyonlarla çevre kirliliğinin azaltılması ve aynı zamanda ürünlerin verimliliklerinin artırılması hedeflenmektedir. R-410A günümüzde çatı tipi klimalarda en yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkandır. Ancak, yüksek GWP değerinden dolayı yakın gelecekte EU 517/2014 Regülasyonu'na göre kullanımı sınırlandırılacaktır. R-452B, R-454B ve R-32, R-410A'nın yerini alma olasılığı en yüksek olan alternatif soğutucu akışkanlardır. Bu çalışmada, sezonsal verimlilikler Commission Regulation EU 2016/2281 de dikkate alınarak, EN 14825'e göre hesaplanmıştır. Sistemler SEER açısından değerlendirildiğinde R-32'li sistem ile R-410A, R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlere göre sırası ile 3.73%, 4.37% ve 4.36% daha fazla verim elde edilmiştir. Sistemler SCOP açısından değerlendirildiğinde R-32'li sistem ile R-410A, R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlere göre sırası ile %4.08, %3.47 ve %5.63 daha fazla verim elde edilmiştir. Sistemler ısıtma kapasitesi açısından değerlendirildiğinde R-32'li sistem ile R-410A, R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlere göre sırası ile %4.97, %9.89 ve %12.32 daha fazla verim elde edilmiştir. Ayrıca bu performans soğutucu akışkan şarj miktarı %19.66 azaltılarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soğutucu Akışkan, Klima, Rooftop, R452B, R454B, R32, LGWP, GWP, SEER, SCOP

Abstract

The effects of global warming on the Earth are increasing day by day. Regulations are published in order to prevent the acceleration of global warming, and with these regulations, it is aimed for manufacturers to develop their products and find alternative solutions. With these regulations, it is aimed for companies to find solutions to reduce their impact on environmental pollution in the world and at the same time to increase the efficiency of their products. R-410A is currently the most common refrigerant for rooftop air conditioners. However, due to the value of its GWP, in the near future, the usage of this refrigerant would be restricted according to Regulation EU 517/2014. R-452B, R-454B and R-32 are the alternative refrigerants which most likely to replace R-410A. In this study, seasonal efficiencies have been calculated according to EN 14825 and considering the Commission Regulation EU 2016/2281. When the systems have been evaluated in terms of SEER, the system with R-32 has been obtained 3.73%, 4.37% and 4.36% more efficiencies compared to the systems with R-410A, R-452B and R-454B refrigerants respectively. When the systems have been evaluated in terms of SCOP, the system with R-32 has been obtained 4.08%, 3.47% and 5.63% more efficiencies compared to the systems with R-410A, R-452B and R-454B refrigerants respectively. When the systems have been evaluated in terms of cooling capacity, the system with R-32 has been obtained 6.66%, 10.6% and 10.6% more efficiencies compared to the systems with R-410A, R-452B and R-454B refrigerants respectively. When the systems have been evaluated in terms of heating capacity, the system with R-32 has been obtained 4.97%, 9.89% and 12.32% more efficiencies compared to the systems with R-410A, R-452B and R-454B refrigerants respectively. Also this performance been achieved by reducing 19.66% refrigerant charge amount.

Keywords: Refrigerant, air conditioner, Rooftop, R452B, R454B, R32, LGWP, GWP, SEER, SCOP

I. GİRİŞ

Ülkemizde ve Dünya’da iklim değişikliğinin etkileri her geçen gün daha da hissedilmektedir. Bu nedenle sistemlerin verimlilikleri ve doğaya verdikleri tahribat tartışılmaktadır. Çeşitli sivil toplum örgütleri ve hükümetler sistemlerin verimliliklerinin artırılması ve doğaya verilen tahribatın en aza indirilmesi için çalışmalar yapmaktadır. Bu yönde atılan adımlardan bir tanesi de Avrupa Birliği tarafından 30 Kasım 2016’da yayınlanan 2016/2281 numaralı ekotasarım gereklilikleri regülasyonudur [1]. Bu regülasyonda birçok ürün grubu için enerji verimliliği kriterine yönelik minimum zorunlu gereklilikler tanımlanmıştır. Bu gereklilikleri sağlamayan ürünlerin belirli bir takvim içerisinde Avrupa’ya girişleri yasaklanmıştır.

Çatı tipi klimaların da dahil olduğu ısıtma ve soğutma ürünleri için 1 Ocak 2018 tarihinde ilk hedef verimlilik değeri yürürlüğe girmiş olmakla birlikte belirtilen ikinci zorunlu hedef verimlilik değeri 1 Ocak 2021 tarihinde geçerli olacaktır. Bu nedenle çatı tipi klima üreticileri cihazlarının verimliliklerini arttırmak için çalışmalar yapmaktadır.

Sistem ekipmanlarının verimliliklerini artırılması ile beraber göz önünde bulundurması gereken bir diğer kriter, EN 517/2014 numaralı F-gaz regülasyonudur [2]. Regülasyonun amacı küresel ısınmaya yönelik olumsuz etkilerinden dolayı HFC soğutucu akışkanlarının kullanımının azaltılmasıdır. 1 Ocak 2015’te yürürlüğe giren regülasyon ile beraber 2030 yılına kadar HFC kullanımının %79 oranında azaltılması hedeflenmektedir. Dolayısı ile mevcut soğutucu akışkanların yerine geçebilecek yeni soğutucu akışkanlar ile ilgili çalışmalar da yapılmaktadır.

Cremaschi L., Wu X., Biswas P. ve Deokar P. [3], R-32, R-1234yf soğutucu akışkanlarının ve R-410A soğutucu akışkanın yerine kullanılacak geliştirilebilir iki yeni soğutucu akışkanın kompresör karakteristikleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kullandıkları geliştirilebilir soğutucu akışkanları DR-4 ve DR-5 olarak adlandırılmış ve GWP değerlerinin sırası ile 300 ve 500 değerlerine yakın olduklarını belirtmişlerdir. Çalışmalarında biri konut uygulamaları için diğeri ise düşük kapasiteli ticari uygulamalar için olmak üzere iki tip kompresör kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada aynı test koşullarında her iki kompresör için de en yüksek kompresör çıkış sıcaklık değeri R-32 soğutucu akışkanlı sistemlerde elde edilmiştir. DR-5 soğutucu akışkanının kompresör çıkış sıcaklığı, R-410A soğutucu akışkanının kompresör çıkış sıcaklığından biraz fazla olmakla birlikte, R-1234yf ve DR-4 soğutucu akışkanlarının kompresörden çıkış sıcaklıkları daha düşüktür. Her iki kompresörde elde edilen sonuçlara göre R-32 soğutucu akışkanlı sistemin DR-5 soğutucu akışkanlı sistemden %5 daha fazla kompresör sıkıştırma oranına sahip olduğu görülmüştür. Hacimsel verimlerine bakıldığında ise

DR-5 soğutucu akışkanının R-410A soğutucu akışkanı ile aynı olduğu görülmekle birlikte, R-32 ve DR-4 soğutucu akışkanlarının sırası ile %2 ve %5 seviyelerinde daha düşük olduğu görülmüştür.

Ng W., Kamar H., Kamsah N. ve Wang F.-J [4], R-410A soğutucu akışkanının yerine kullanılacak düşük GWP değerine sahip karışım soğutucu akışkanlarının performans analizlerini yaptıkları çalışmada konut tipi klimaları ele almışlardır. Tropikal iklim bölgesi için yaptıkları bu çalışmada R-410A soğutucu akışkanının verilerini R-A ve R-B adını verdikleri iki soğutucu akışkanın sonuçları ile karşılaştırmışlardır. R-A; R-32 ve R-1234ze soğutucu akışkanlarının karışımından, R-B ise R-32 ve R-600A soğutucu akışkanının karışımından oluşmaktadır. GWP değerleri sırası ile R-410A’dan %70 ve %73 oranlarında daha düşük olan bu soğutucu akışkanların TEWI_{direkt} değerlerinin de R-410A soğutucu akışkanın TEWI_{direkt} değerinden sırasıyla %23 ve %20 daha düşük oldukları görülmüştür. Sistem verimlilikleri karşılaştırıldığında ise R-A ve R-B soğutucu akışkanlarının COP değerlerinin, R-410A’nın COP değerinin sırasıyla %99,4 ve %98,8’ine düştüğü hesaplanmıştır. TEWI_{indirekt} değerlerine bakıldığında R-A ve R-B soğutucu akışkanlarının TEWI_{indirekt} değerlerinin, R-410A soğutucu akışkanının TEWI_{indirekt} değerinden sırası ile %0,6 ve %1,2 fazla oldukları görülmüş ve bunların kabul edilebilir seviyede oldukları belirtilmiştir.

Devecioğlu, A.G. [5], yapmış olduğu çalışmada ısı pompası cihazlarında R-410A soğutucu akışkanının yerine geçebilecek düşük GWP değerine sahip soğutucu akışkanların sezonsal performanslarını teorik olarak karşılaştırmıştır. Alternatif olarak seçmiş olduğu soğutucu akışkanlar R-466A, R-447B, R-452B ve R-454B olmakla birlikte SEER ve SCOP değerlerini EN 14825’e göre hesaplamıştır. Bu soğutucu akışkanların GWP değerlerinin 750’den düşük olduğunu ve böylelikle EU regülasyon kriterlerini karşıladıklarını belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre R-452B ve R-454B soğutucu akışkanları kullanılarak elde edilen SCOP değerlerinin R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen SCOP değerinden çok az miktarda düşük olduğu, SEER değerlerinin ise R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen SEER değerinden yüksek olduğu belirtilmiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda çalışmada kullanılan alternatif soğutucu akışkanlar içinde R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlarının en uygun alternatifler olarak öne çıktıkları belirtilmiştir.

Alabdulkarem, A., Eldeeb, R., Hwang, Y. ve Radermacher, R. [6], yapmış oldukları çalışmada ısı pompası sistemleri için R-410A soğutucu akışkanı için alternatif olabilecek GWP değeri düşük soğutucu akışkanların testini, simülasyonunu ve optimizasyonunu yaparak elde edilen verileri

karşılaştırmışlardır. Deneylerde R-410A soğutucu akışkanının alternatifi olarak üç farklı soğutucu akışkan kullanılmıştır. Bu soğutucu akışkanlar R-32, L41a ve D2Y60 olmakla beraber R-32 soğutucu akışkanının kullanıldığı sistemde soğutma ve ısıtma kapasitelerinin R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen değerlerden daha iyi oldukları belirtilmiştir. L41a soğutucu akışkanı kullanılan sistemin ise COP yönünden değerlendirildiğinde R-410A soğutucu akışkanlı sistemden daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. D2Y60 soğutucu akışkanın kullanıldığı sistemin ise kompresör çıkış sıcaklığı yönünden R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen değerden daha iyi olduğu belirtilmiştir. SEER ve HSPF yönünden değerlendirildiğinde ise alternatifler arasından en uygun soğutucu akışkanın L41a olduğu belirtilmiştir. Ayrıca soğutucu akışkan şarj miktarları yönünden de R-410A ile karşılaştırıldığında kayda değer oranda azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Han, X.-H., Qiu, Y., Li, P., Xu, Y.-J., Wang, Q. ve Chen, G.-M [7], yapmış oldukları çalışmada küçük ölçekli soğutma sistemleri için R-410A soğutucu akışkanına alternatif olabilecek R-32 ve R-161 soğutucu akışkanlarının performans verileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada R-161 soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen COP değerinin R-32 soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen COP değerinden %10 ve R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen COP değerinden de %17.8 daha fazla olduğu belirtilmiştir. R-161 soğutucu akışkanının kompresör çıkış sıcaklığının bu soğutucu akışkanlar arasında en düşük değere sahip olduğu vurgulanmıştır. Aynı zamanda R-161 soğutucu akışkanı, en düşük güç tüketimine ve soğutma kapasitesine sahip soğutucu akışkan olarak belirlenmiştir. R-32 soğutucu akışkanlı sistemin soğutma kapasitesi ve COP değeri R 410A soğutucu akışkanlı sisteminin sahip olduğu COP değerleriyle neredeyse aynı olmakla birlikte R-32 soğutucu akışkanlı sistemin kompresör çıkış sıcaklığı ve güç tüketimi değerlerinin bir çok çalışma noktasında R-410A soğutucu akışkanlı sisteme göre bir miktar fazla olduğu belirtilmiştir.

Longo G., Mancin S., Righetti G. ve Zilio C. [8], yaptıkları çalışmada orta büyüklükteki su soğutma grupları ve ısı pompaları için HFC-410A soğutucu akışkanının yerine HFC-32 soğutucu akışkanını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada HFC-32 soğutucu akışkanının ısı transfer katsayısının çok daha yüksek ve sürtünme basınç kayıplarının HFC-410A soğutucu akışkanına göre bir miktar fazla olduğu belirtilmiştir. HFC-32 soğutucu akışkanının GWP değerinin HFC-410A soğutucu akışkanının GWP değerinin üçte biri olması ve termodinamik olarak benzer özellikler göstermesi nedeniyle HFC-32

soğutucu akışkanının, HFC-410A soğutucu akışkanı için orta büyüklükte çiller ve ısı pompası uygulamalarında alternatif olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Belchi, A. ve Gomez, F. [9], yapmış oldukları çalışmada mikro kanallı kondenser ünitelerinde R-410A ve R-2 soğutucu akışkanlarını deneysel ve teorik olarak karşılaştırmışlardır. R-32 soğutucu akışkanının gizli ısısının, ısı transfer katsayısının ve basınç kayıplarının R-410A soğutucu akışkanına göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. R-32 soğutucu akışkanının düşük kütle hızı ve daha iyi ısı/güç oranı sayesinde R-410A soğutucu akışkanından daha iyi performans vereceği belirtilmiştir. Bu değişikliğin eğer R-2 soğutucu akışkanı için özel olarak tasarlanmış ve R-32 soğutucu akışkanı ile çalışacak şekilde modifiye edilmiş bir sistemde gerçekleşirse soğutucu akışkan şarj miktarının azalacağı ve dolayısı ile sistemin çevreye olan olumsuz etkisinin de azalacağı belirtilmiştir. Ayrıca enerji verimliliğinde de pozitif anlamda gelişme sağlanacağı ifade edilmiştir.

Longo G., Mancin S., Righetti G. ve Zilio C [10], doymuş buharın yoğunlaşması üzerine yaptıkları çalışmada 4 mm iç çapa sahip tüp kullanarak R-410A ve R-32 soğutucu akışkanlarının bulgularını karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre R-32 soğutucu akışkanının ısı transfer katsayısı R-410A soğutucu akışkanına göre daha yüksek olmakla beraber basınç kaybı değeri de R-410A soğutucu akışkanından daha fazladır. Yapılan deneysel ölçümlerin R-32 soğutucu akışkanının R-410A soğutucu akışkanının yerini alabilecek düşük GWP değerine sahip bir alternatif soğutucu akışkan olduğunu belirtmişlerdir.

Onat A., İmal M. ve İnan T. [11], yapmış oldukları çalışmada soğutucu akışkanların ozon tabakası üzerindeki etkilerini araştırmış ve alternatif soğutucu akışkanları değerlendirmişlerdir. Ayrıca ozon tabakasının delinmesinin canlılar üzerindeki olumsuz etkilerini ifade etmişlerdir. Alternatif olarak kullanılacak soğutucu akışkanların yerine kullanılacak soğutucu akışkanlarla benzer fiziksel özellikleri taşıması gerekliliği ifade etmişlerdir. Bunun yanında küresel ısınma değerinin daha düşük olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çatı tipi klimalarda günümüzde en çok tercih edilen soğutucu akışkan R-410A'dır. HFC olan R-32 soğutucu akışkanı, HFO olan R-454B ve R-452B soğutucu akışkanları R-410A soğutucu akışkanının yerine kullanılma ihtimali en yüksek olan soğutucu akışkanlardan bazılarıdır. Bu soğutucu akışkanların genel özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. R-410A ve Alternatiflerinin Karşılaştırılması

Özellikler	R-410A	R-32	R-452B	R-454B
Kategori	HFC	HFC	HFO	HFO
Karışım oranları	R-32 %50 R-125 %50	-	R-32 %67 R-1234yf %26 R-125 %7	R-1234yf %65 R-32 %35
Kimyasal formülü	CH ₂ F ₂ CHF ₂ CF ₃	CH ₂ F ₂	CH ₂ F ₂ C ₃ H ₂ F ₄ CHF ₂ CF ₃	C ₃ H ₂ F ₄ CH ₂ F ₂
Zehirlilik	Yok	Yok	Yok	Yok
Güvenlik sınıfı	A1	A2L	A2L	A2L
GWP	1924	677	676	466
ODP	0	0	0	0
Kaynama noktası (1 atm) [° C]	-51,44	- 51,65	- 50,67	-50,49
Kritik sıcaklık [° C]	71,34	78,1	77,1	78,1
Kritik basınç [kPa]	4790	5787	5267	5220
LFL [%]	-	14	12	11,25

Bu çalışmada EN 517/2014 F Gaz regülasyonuna dayanarak, DX bataryalı, scroll (sarmal) kompresörlü çatı tipi klima sistemlerinde R-410A soğutucu akışkanına alternatif olabilecek R-452B, R-454B ve R-32 soğutucu akışkanlarının, sistemin ekipmanları değiştirilmeden performanslarının karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

Bu karşılaştırma yapılırken öncelikle her sistem için optimum soğutucu akışkan şarj miktarları belirlenmiştir. Daha sonrasında ise sezonsal verimlilik değerlerinin hesaplanmasına yönelik yayınlanan EN 14825 numaralı standart kullanılarak hem ısıtma hem de soğutma sezonlarında sezonsal verimlilikler (SCOP ve SEER değerleri) hesaplanarak karşılaştırılmıştır [12]. Ayrıca soğutucu akışkan şarj miktarları değişimleri ve kapasite değişimleri de karşılaştırılmıştır. Bu kriterlere göre çatı tipi klima uygulamalarında kullanılan R-410A soğutucu akışkanın yerine kullanılabilir küresel ısınma değeri düşük alternatif soğutucu akışkanlardan R-452B, R-454B ve R-32'den hangisinin daha uygun olduğunun belirlenmesi hedeflenmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çatı Tipi Klimalar için Eko Tasarım Kriterleri

Küresel ısınmanın etkilerini azaltmak için yayımlanan F Gaz Regülasyonu (EC 517 2014) dışında enerji tüketimini de azaltmak için Avrupa Birliği Komisyonu tarafından enerji tüketen tüm cihazları için eko tasarım regülasyonları yayınlanmaktadır. Bu regülasyonlar, üretici firmalara cihaz verimliliklerini arttırmaları yönünde hedefler koymaktadır. Bu kapsamda 30 Kasım 2016 tarihinde Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından enerji tüketimi yapan hava ısıtma ürünleri,

soğutma ürünleri, yüksek sıcaklık prosesi uygulayan çiller ve fan coil üniteleri için eko tasarım kriterlerini kapsayan 2016/2281 sayılı Tüzük yayınlanmıştır. Bu regülasyonla, üretici firmalardan ürün fiyatlarında mantıksız bir fiyat artışı olmadan, ürünlerin çevreye olan olumsuz etkisini azaltmak için verimliliklerinin artırılması hedeflenmektedir.

Çatı tipi klima cihazları da bu regülasyondan etkilenen ürün gruplarındandır. Eskiden sadece tam yükteki verimliliklerine bakılan çatı tipi klima cihazlarında artık tüm sezonu kapsayan sezonsal verimlilik değerleri dikkate alınmıştır. Bu kapsamda sırasıyla 1 Ocak 2018'te yürürlüğe giren Tier 1 ve 1 Ocak 2021'de yürürlüğe girecek olan Tier 2 verimlilik hedefleri belirtilmiştir ve bu değerler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çatı Tipi Klimalar İçin Minimum Sezonsal Enerji Verimlilikleri [1]

Verimlilik	Tier 1	Tier 2
$\eta_{s,h}$	115	125
$\eta_{s,c}$	117	138

Enerjilerin birbirleri arasındaki dönüşümleri sırasında bir miktar enerji kayıpları meydana gelmektedir. Sezonsal verimlilik değerleri hesaplanırken bu enerji kayıpları da dikkate alınmalıdır. Enerjinin birbirine dönüşümünü de dikkate alarak elde edilen sezonsal verimlilik değerleri, RS/6/C/007-2019'da da belirtildiği üzere (1) ve (2) numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanır [13].

$$\eta_{s,cool} = \frac{SEER \times 100}{CC} - \sum F(i) \quad (1)$$

$$\eta_{s,heat} = \frac{SCOP \times 100}{CC} - \sum F(i) \quad (2)$$

Burada belirtilen CC (conversion constant), enerji dönüşüm katsayısı olarak tanımlanmıştır. Eko dizayn regülasyonu 2016/2281 sayılı tüzükte, Avrupa genelinde enerji santrallerinde bu dönüşümün ortalama % 40 verimlilikte gerçekleştiğini ve CC katsayısının 2.5 alınabileceği belirtilmiştir.

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2’de belirtilen F(i) fonksiyonu, sıcaklık kontrollü cihazların enerji verimliliğine olan negatif etkisini sembolize etmektedir. Rating Standard for the Certification of Rooftop (RS/6/C/007-2019)’da bu fonksiyonun çillerler, klimalar, ısı pompaları ve havadan havaya çatı tipi klima cihazlar için %3 alınabileceği belirtilmiştir. Elde edilen sezonsal verimlilik oranları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Çatı Tipi Klimalar İçin Minimum Sezonsal Verimlilik Değerleri [2]

Sezonsal verimlilik	Tier 1	Tier 2
SEER	2.95	3.2
SCOP	3	3.53

2.2. SEER ve SCOP Kavramı ve Zorunlu Test Sıcaklıkları

2.2.1. SEER kavramı ve zorunlu test sıcaklıkları

SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio), soğutma modunda bir cihazın tüm sezon boyunca toplam verimliliğini ifade etmektedir. Eurovent bu sezonsal verimliliğin hesaplanabilmesi için European Standard EN 14825 Testing and Rating at Part Load Conditions and Calculation of Seasonal Performance standardını yayımlamıştır. Bu standartta soğutma cihazları için 16 °C ‘nin üzerindeki mahallerden ısı çekilebileceği kabul edilmiştir. Eurovent, 16 °C ve cihazın tam yük kapasitesinin kabul edildiği 35 °C arasında 4 farklı noktadan üretici firmaların Eurovent Sertifikası alabilmeleri için uygun laboratuvarlarda test edilmesini şart koşmuştur. Bu noktalarda olması gereken hava şartları Tablo 4’te verilmiştir. T_{dizaync} sıcaklığı EN 14825’te soğutma modu için dış ortam sıcaklığı 35 °C KT ve 24 °C YT olarak belirtilmiştir. Bu dizayn sıcaklığına karşılık gelen kısmi yük oranları “Kısmi yük oranı” sütunundaki eşitlikle hesaplanarak, “Kısmi yük oranı [%]” sütununda belirtilmişlerdir.

SEER_{on}, aktif soğutma modunda zorunlu koşullarda test edilip hesaplanan sezonsal verimliliği ifade etmektedir. Enerji tüketimi olarak sadece aktif durumdaki tüketimi dikkate alır. Kapalı termostat durumunda, bekleme modunda veya karter ısıtıcının tükettiği enerjileri bu hesaplamamın dışında tutar.

Tablo 4. Havadan Havaya Çatı Tipi Klimalar İçin Soğutma Sezonu “A” = Avarage (Ortalama) SEER ve SEER_{on} Hesaplaması İçin Kısmi Yük Değerleri

	Kısmi yük oranı	Kısmi yük oranı [%]	Dış ortam KT [°C]
A	(35-16)/(T _{dizaync} -16)	100	35
B	(30-16)/(T _{dizaync} -16)	74	30
C	(25-16)/(T _{dizaync} -16)	47	25
D	(20-16)/(T _{dizaync} -16)	21	20

2.2.2. SCOP kavramı ve zorunlu test sıcaklıkları

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance), ısıtma modunda bir cihazın tüm sezon boyunca toplam verimliliğini ifade etmektedir. Eurovent bu sezonsal verimliliğin hesaplanabilmesi için European Standard EN 14825 Testing and Rating at Part Load Conditions and Calculation of Seasonal Performance standardını yayınlamıştır.

Soğutma modundan farklı olarak Eurovent, Avrupa iklim bölgelerini 3 gruba ayırmıştır. Sıcak, soğuk ve ortalama sıcaklık olarak ayrılan bu bölgelerden herhangi biri için Eurovent verimlilik hesaplamalarını kabul etmekte ve sertifika vermektedir. Bu çalışmada hesaplamalar Tablo 5’te verilen Avrupa ortalama sıcaklıktaki iklim bölgesi referans alınarak yapılmıştır.

Tablo 5. Havadan Havaya Çatı Tipi Klima Cihazlarının Isıtma Sezonu “A” = Avarage (Ortalama) SCOP, SCOP_{on} ve SCOP_{net} Hesaplaması İçin Kısmi Yük Oranları

	Kısmi yük oranı	Kısmi yük oranı [%]	Dış ortam KT(YT) [°C]	İç ortam KT [°C]
A	(-7-16)/(T _{dizaynh} -16)	88	-7(-8)	20
B	(+2-16)/(T _{dizaynh} -16)	54	2(1)	20
C	(+7-16)/(T _{dizaynh} -16)	35	7(6)	20
D	(+12-16)/(T _{dizaynh} -16)	15	12(11)	20
E	(TOL-16)/(T _{dizaynh} -16)		TOL	20
F	(T _{bivalent} -16)/T _{dizaynh} -16)		T _{bivalent}	20

SCOP_{on} aktif soğutma modunda zorunlu hava şartlarında test edilip hesaplanan sezonsal verimliliği ifade eder. Enerji tüketimi olarak sadece aktif durumdaki tüketimi dikkate alır. Kapalı termostat durumunda, bekleme modu veya karter ısıtıcının tükettiği enerjileri bu hesaplamaların dışında tutar. Kısmi yük şartlarında ise beyan edilen kapasitenin ısıtma ihtiyacının altında olduğu durumlarda sitemde ek bir elektrikli ısıtıcı varmış gibi elektrikli ısıtıcının tüketeceği enerji miktarı toplam enerji tüketim miktarına eklenir. SCOP_{net} değeri ise cihazın açık olduğu fakat sistemde ek bir elektrikli ısıtıcının olmadığı varsayılarak yapılan hesaplama sonucu elde edilen SCOP değeridir.

İklimsel olarak 3 farklı iklim bölgesine ayrılan Avrupa’da kabul edilen T_{dizayn} sıcaklıkları Tablo 6’da verilmiştir. Bu dizayn sıcaklığında belirtilen değerler tablolarda gösterilen Kısmi Yük Oranı sütunundaki eşitliklerde yerlerine konularak Kısmi Yük Oranı [%] sütununda gösterilen değerler bulunur.

Operasyon Limit Sıcaklığı (TOL), cihazın üretici firma tarafından beyan edilen çalışabileceği en düşük operasyon sıcaklığı olarak tanımlanır.

Tablo 6. Havada Havaya Çatı Tipi Klima Cihazlarının Isıtma Sezonu T_{dizayn} Sıcaklıkları

	Dış ortam KT(YT) [°C]	İç ortam KT [°C]
T _{dizayn} “Ortalama”	-10(-11)	20
T _{dizayn} “Soğuk”	-22(-23)	20
T _{dizayn} “Sıcak”	+2(+1)	20

Bivalent Sıcaklığı (T_{bivalent}), cihazın gerek duyulan ısı yükünü ek elektrikli ısıtıcıya ihtiyaç duymadan kendi başına karşılayabildiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanır. Bivalent sıcaklığına Eurovent tarafından EN 14825 ile iklim bölgelerine göre sınırlar getirilmiştir.

- Ortalama iklim; T_{bivalent} ≤ +2 C
- Soğuk iklim; T_{bivalent} ≤ -7 C
- Sıcak iklim; T_{bivalent} ≤ +7 C

Bivalent sıcaklık belirtilen sınır değerleri içerisinde seçilip, sistem dizaynları ve hesaplamaları bu değere göre yapılmalıdır.

2.3. Sezonsal Verimliliklerin Hesaplanması

2.3.1. SEER ve SEER_{on} hesaplama yöntemi

Sezonsal Enerji Verimlilik Oranı (SEER), EN 14825’e göre yıllık soğutma ihtiyacının yıllık enerji tüketimine bölümü ile elde edilir. Bu yıllık enerji tüketimi; cihazın aktif konumdaki, kapalı termostat durumundaki, bekleme modundaki, kapalı durumdaki ve karter

ısıtıcının çalışır konumdaki tükettiği enerji miktarlarını kapsamaktadır. Çatı tipi klimanın soğutma sezonunda açık ve kapalı konumda tükettiği toplam enerji miktarı dikkate alınarak verimliliği (3) numaralı eşitlikle hesaplanabilir.

$$SEER = \frac{Q_c}{SEER_{on} + H_{to} \times P_{to} + H_{sb} \times P_{sb} + H_{ck} \times P_{ck} + H_{off} \times P_{off}} \quad (3)$$

Q_c :Yıllık soğutma ihtiyacı, [kWh]

H_{to}, H_{sb}, H_{ck}, H_{off} : Sırasıyla kapalı termostat modunda, bekleme modunda, karter ısıtıcısı açıkken ve cihazın kapalı durumda operasyon saatleri, [h]

P_{to}, P_{sb}, P_{ck}, P_{off} : Sırası ile kapalı termostat modunda, bekleme modunda, karter ısıtıcısı açıkken ve cihazın kapalı durumda enerji tüketim miktarları, [kW]

Referans yıllık soğutma ihtiyacı (Q_c) hesaplanırken tam yükteki kapasite, eşdeğer soğutma saati (H_{ce}) ile çarpılarak (4) numaralı eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanır.

$$Q_c = P_{dizaync} \times H_{ce} \quad (4)$$

Referans SEER_{on} değeri (5) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$SEER_{on} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j \times P_c(T_j)}{\sum_{j=1}^n h_j \times \left(\frac{P_c(T_j)}{EER_{pl}(T_j)}\right)} \quad (5)$$

Tablo 4’te verilen A hava şartlarında (tam yükte) elde edilen cihaz kapasitesinin soğutma yüküne (P_{dizaync}) eşit olarak kabul edilir. B,C ve D şartlarında ise iki olasılık vardır:

- Eğer beyan edilen cihaz kapasitesi gerekli soğutma yüküne eşit veya düşük ise, karşılık gelen EER_{DC} değeri kullanılır.
- Eğer beyan edilen cihaz kapasitesi gerekli soğutma yükünden fazla ise, bu cihazın zaman zaman açılıp kapanacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda düzeltme yapılarak EER_{PL} değeri (6) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$EER_{PL(B,C,D)} = EER_{DC} \times [1 - Cd \times (1 - CR)] \quad (6)$$

Test ile hesaplanmayan Cd değerleri, 0.25 olarak alınabilir [12]. Kapasite oranı (CR), aynı hava şartlarında talep edilen soğutma yükünün (P_c) beyan edilen cihaz kapasitesine bölümüdür.

2.3.2. SCOP ve SCOP_{on} hesaplama yöntemi

Sezonsal Performans Katsayısı (SCOP), EN 14825’e göre yıllık ısıtma ihtiyacının yıllık enerji tüketimine bölümü ile elde edilir. Bu yıllık enerji tüketimi, cihazın aktif moddaki, kapalı termostat durumundaki, bekleme modundaki, kapalı durumdaki ve karter ısıtıcının çalışır konumdaki toplam tükettiği enerji miktarlarını kapsamaktadır. Isıtma sezonsal verimliliği hesaplamak için (7) numaralı eşitlik kullanılır.

$$SCOP = \frac{Q_h}{\frac{Q_h}{SCOP_{on}} + H_{to} \times P_{to} + H_{sb} \times P_{sb} + H_{ck} \times P_{ck} + H_{off} \times P_{off}} \quad (7)$$

Q_h : Referans yıllık ısıtma ihtiyacı, [kWh]

Referans yıllık ısıtma ihtiyacı, Q_h , (2.8) numaralı eşitlikle hesaplanabilir.

$$Q_h = P_{dizayn,h} \times H_{he} \quad (8)$$

Ek elektrikli ısıtıcının verimi dikkate alınarak (9) numaralı eşitlik ile Referans $SCOP_{on}$ ve ek elektrikli ısıtıcının verimi dikkate alınmadan da $SCOP_{net}$ değeri (10) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$SCOP_{on} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j \times Ph(T_j)}{\sum_{j=1}^n h_j \times \left(\frac{Ph(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} + elbu(T_j) \right)} \quad (9)$$

$$SCOP_{net} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j \times (Ph(T_j) - elbu(T_j))}{\sum_{j=1}^n h_j \times \left(\frac{Ph(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} \right)} \quad (10)$$

$elbu(T_j)$: T_j sıcaklığına karşılık ihtiyaç kapasiteyi sağlamak için ek elektrikli ısıtıcının kapasitesi, [kW]
Kısmi yük koşulları olan ve Tablo 5’te verilen A, B, C ve D noktalarında iki ihtimal vardır.

- Eğer beyan edilen cihaz kapasitesi gerekli ısı yüküne eşit veya küçükse karşılık gelen COP_{DC} değeri kullanılabilir.
- Eğer beyan eden cihaz kapasitesi ihtiyaç duyulan ısı yükünden fazla ise cihazın kapasite kontrolüne dayanarak COP_{PL} değeri (11) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$COP_{PL(A,B,C,D)} = COP_{DC} \times [1 - Cd \times (1 - CR)] \quad (11)$$

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Optimum Şarj Miktarının Belirlenmesi

R-410A kullanılan soğutucu akışkanlı çatı tipi klimalar için alternatif soğutucu akışkanlardan biri de R-32’dir. Farklı aşırı soğuma derecelerinde elde edilen soğutma kapasiteleri, tüketilen güç değerleri, kullanılan soğutucu akışkan şarj miktarları kaydedilmiş, EER değerleri, bir önceki simülasyon noktasına göre EER artış ve soğutucu akışkan artış değerleri hesaplanıp Tablo 7’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en düşük kapasite 3 °C aşırı soğuma değerinde 77.812 kW olarak bulunmuştur. Aşırı soğuma değeri arttıkça soğutucu akışkan artmış ve elde edilen soğutma kapasitelerinde artış görülmüştür. Kaydedilen en yüksek soğutma kapasitesi 6.5 °C aşırı soğuma değeriyle simüle edilen modelde olup 79.338 kW’tır. EER değerlerine bakıldığında ise 3 °C aşırı soğuma değeri ile simüle edilen modelde 3.374 olarak kaydedilip, aşırı soğuma değeri arttıkça diğer soğutucu akışkanlarla elde edilen soğutma devresi simülasyonlarında da olduğu gibi EER değerinin arttığı gözlemlenmiştir. EER artış oranlarında ise aşırı soğuma değeri arttıkça sürekli bir artış sağlanmakla beraber bu artış oranının giderek azaldığı görülmüştür. Bir önceki aşırı soğuma miktarı ile simüle edilen modelden elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında en yüksek EER artış oranının 3.5 °C aşırı soğuma derecesi ile simüle edilen modelde olduğu gözlemlenmekle beraber en düşük EER artış oranı 6.5 °C aşırı soğuma değerinde simüle edilen modelde kaydedilmiştir.

Tablo 7. R 32 İçin Aşırı Soğuma Değerine Göre Performans Değişimi

Aşırı soğuma [°C]	Akışkan miktarı [kg]	Akışkan artış [%]	Soğutma kapasite [W]	Güç [W]	EER	EER artış [%]
3	19.608		77812	23062	3.374	
3.5	19.856	1.26	78044	23084	3.381	0.20
4	20.13	1.38	78272	23108	3.387	0.19
4.5	20.432	1.50	78496	23134	3.393	0.17
5	20.762	1.61	78718	23162	3.399	0.16
5.5	21.076	1.52	78930	23188	3.404	0.16
6	21.38	1.44	79134	23218	3.408	0.13
6.5	21.732	1.65	79338	23250	3.412	0.12

Soğutma çevrimi modelinde değişken aşırı soğuma değerlerine göre elde edilen soğutucu akışkan miktarları ısıtma çevrimi modellerinde sırası ile kullanılıp simülasyondan elde edilen ısıtma kapasiteleri, çekilen güç değerleri kaydedilip, COP ve bir önceki soğutucu akışkan miktarına göre simüle edilen modelden elde edilen COP değerine göre COP artış değeri hesaplanarak Tablo 8’de gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre en düşük ısıtma kapasitesi 83.91 kW ile 19.608 kg soğutucu akışkan kullanılan modelde gözlenmiştir. Isıtma kapasitesinin soğutucu

akışkan miktarı arttıkça arttığı gözlemlenmiş ve en yüksek ısıtma kapasitesi 85.456 kW ile 21.732 kg soğutucu akışkanlı modelde elde edilmiştir. COP değerlerine bakıldığında ise en yüksek COP değeri diğer alternatif soğutucu akışkanlı modellerde de gözlemlendiği gibi en düşük soğutucu akışkan miktarında gözlemlenmekle beraber, R 32 soğutucu akışkanlı modelde 19.608 kg soğutucu akışkan kullanılan modelde 3.654 olarak hesaplanmıştır. COP değişim değerine bakıldığında ise COP değerindeki düşüş değerinin giderek arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 8. R-32 Akışkan Miktarına Göre Isıtma Performans Değerleri

Akışkan miktarı [kg]	Isıtma kapasite [W]	Isıtma güç [W]	COP	COP artış [%]
19.608	83910	22964	3.654	
19.856	84116	23026	3.653	-0.02
20.13	84338	23098	3.651	-0.05
20.432	84582	23178	3.649	-0.06
20.762	84834	23262	3.647	-0.06
21.076	85058	23344	3.644	-0.09
21.38	85252	23422	3.64	-0.11
21.732	85456	23516	3.634	-0.16

R-32 soğutucu akışkanlı sistem için optimum şarj miktarı belirlenirken, farklı aşırı soğuma değerlerinde hem ısıtma hem soğutma performans verileri gözönünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre EER değerinde aşırı soğuma derecesi arttıkça genel olarak giderek azalan bir artış oranı olduğu gözlemlenmiştir. Isıtma modeli simülasyonlarından elde edilen sonuçlara göre aşırı soğuma değeri arttıkça COP değerinde azalma görülmekle beraber, bu aşırı soğuma değerlerinde elde edilen soğutucu akışkan miktarları soğutma modellerinin simülasyonlarında kullanıldığında ise EER değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Şarj miktarı arttıkça artan EER değeri ve azalan COP değeri gözönünde bulundurulduğunda, optimum şarj

miktarını belirlemek için, her bir kontrol noktasında EER ve COP artış değeri toplanarak, sistemin toplam verimlilik değerinin artmasının bittiği noktadaki şarj miktarı, optimum şarj miktarı olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerler Tablo 9’da gösterilmekle beraber, tabloda da görüleceği üzere Δ Artış değeri giderek azalarak en düşük pozitif değerine 21.38 kg şarj miktarında ulaşmıştır. Nitekim kendisinden sonraki kontrol noktası olan 21.732 kg şarj miktarı ile elde edilen Δ Artış değerinin %0.04 azaldığı hesaplanmıştır. Bu nedenle R-32 soğutucu akışkanlı modelin farklı soğutucu akışkan miktarı ile elde edilen performans değerlerine göre en uygun şarj miktarı 21.38 kg olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. R-32 Soğutucu Akışkanı Optimum Şarj Miktarının Belirlenmesi

Akışkan miktarı [kg]	Akışkan artış [%]	EER artış [%]	COP artış [%]	Δ Artış
19.856	1.26	0.20	-0.02	0.18
20.13	1.38	0.19	-0.05	0.14
20.432	1.50	0.17	-0.06	0.12
20.762	1.61	0.16	-0.06	0.10
21.076	1.52	0.16	-0.09	0.07
21.38	1.44	0.13	-0.11	0.02
21.732	1.65	0.12	-0.16	-0.04

R-410A soğutucu akışkanına çatı tipi klimalar için alternatif olabilecek soğutucu akışkanlardan R-32 ile yapılan simülasyonlardan elde edilen sonuçlara göre tam yükteki ısıtma ve soğutma modundaki performans verileri özeti Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. R-32 Soğutucu Akışkanlı Sistemin Performans Tablosu

Çalışma modu	Akışkan miktarı [kg]	Kapasite [W]	Güç tüketimi [W]	EER/COP
Soğutma		79134	23218	3.408
Isıtma	21.38	85252	23422	3.640

R-410A soğutucu akışkanı ve diğer alternatifleri olan R-452B ve R-454B soğutucu akışkanları için de optimum soğutucu akışkan şarj miktarları da aynı metotla belirlenmiştir.

3.2 SEER Değerinin Hesaplanması

Optimum şarj miktarı 21.38 kg olarak belirlenen R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima cihazının simülasyonları Tablo 4’te verilen A, B, C ve D hava şartlarında gerçekleştirilmiştir. B ve C noktalarında interpolasyon ile cihaz kapasitesi talep edilen kapasiteye eşitlenerek EER_{PL} değerinde cihazın açılıp kapanmasına bağlı olarak azalma yaşanmasının önüne geçilmiştir. Ekstrapolasyon ve interpolasyon yöntemleri ile tüm çalışma sıcaklıklarına karşılık gelen kapasite ve EER_{PL} değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen kapasite değerleri sıcaklık değerlerine bağlı yıllık operasyon saatleri ile çarpılarak yıllık soğutma ihtiyaçları belirlenmiş ve daha sonrasında EER_{PL} değerlerine bölünerek yıllık enerji tüketim miktarları bulunmuştur.

Yıllık sıcaklık frekanslarına göre çalışma saatleri dikkate alınarak cihaz açık konumdayken soğutma sezonsal verimlilik değeri (5) numaralı SEER_{on}

hesaplama eşitliği ile SEER_{on} değeri R-32 soğutucu akışkanlı sistemde 4.57 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11. R 32 SEER_{on} Hesaplama Tablosu

	Dış ortam sıcaklığı [°C]	Yıllık çalışma süresi [h]	Zorunlu test noktaları	Soğutma yükü [kW]	EER _{PL}	Yıllık soğutma ihtiyacı [kWh]	Yıllık enerji tüketimi [kWh]
1	17	205		4.16	5.61	854	152
2	18	227		8.33	5.61	1891	337
3	19	225		12.49	5.61	2811	501
4	20	225	D	16.66	5.61	3748	668
5	21	216		20.82	5.42	4498	830
6	22	215		24.99	5.22	5373	1029
7	23	218		29.15	5.03	6356	1264
8	24	197		33.32	4.83	6564	1358
9	25	178	C	37.48	4.64	6672	1438
10	26	158		41.65	4.52	6581	1457
11	27	137		45.81	4.39	6277	1428
12	28	109		49.98	4.27	5448	1275
13	29	88		54.14	4.15	4765	1148
14	30	63	B	58.31	4.03	3673	912
15	31	39		62.47	3.9	2436	624
16	32	31		66.64	3.78	2066	547
17	33	24		70.8	3.66	1699	465
18	34	17		74.97	3.53	1274	361
19	35	13	A	79.13	3.41	1029	302
20	36	9		83.3	3.41	750	220
21	37	4		87.46	3.41	350	103
22	38	3		91.63	3.41	275	81
23	39	1		95.79	3.41	96	28
24	40	0		99.96	3.41	0	0
				SEER_{on}	4.57	75486	16528

R-32 soğutucu akışkanlı sistemin ek güç tüketim miktarı hesaplaması Tablo 12’de verilmiştir. Yıllık operasyon saatlerine göre termostat kapalı konumdayken, bekleme modunda ve karter ısıtıcı çalışırken yıllık tüketim miktarları kWh cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 12. R-32 Ek Güç Tüketimleri

	Güç [kW]	Yıllık saat [h]	Yıllık tüketim [kWh]
P _{to}	0.34	659	225.38
P _{sb}	0.17	1377	234.09
P _{ck}	0.20	2036	407.20
P _{off}	-	0	0

Daha sonra SEER değeri hesaplamak için bilinmesi gereken bir başka değer olan yıllık soğutma ihtiyacı miktarı, Q_c, yıllık soğutma saati olan H_{ce} değeri ile R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klimanın dizayn kapasitesi, P_{dizaync}, (4) numaralı eşitlikte yerlerine konularak 47480 kWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Q_c, SEER_{on} ve yıllık ek enerji tüketim değerleri (3) numaralı SEER hesaplama formülü kullanılarak, R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima

sisteminin simülasyonlarından elde edilen verilerle EN 14825 standardına göre yıllık soğutma verimlilik değeri hesaplandığında SEER değeri 4.22 olarak bulunmuştur. R-410A ve diğer alternatif soğutucu akışkanlardan R-452B ve R-454B için de aynı hesaplamalar yapılmıştır v ve R3-2 soğutucu akışkanlı sistemin SEER değerinin diğerlerinden büyük olduğu hesaplanmıştır.

3.3. SCOP Değerlerinin Hesaplanması

Optimum şarj miktarı 21.38 kg olarak belirlenen R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima modelinin ısıtma simülasyonu sonuç değerleri Tablo 13’de TOL, T_{biv}, A, B, C, D noktalarında gösterilmiştir. Ortalama iklim bölgesi için verilen ısıtma sezonu zorunlu test sıcaklıkları tablosu Tablo 5 dikkate alınarak modeller sırası ile -10 °C, -7 °C, 2 °C, 7 °C ve 12 °C sıcaklıklarda simüle edilmiştir. T_{bivalent} sıcaklığı -4 °C olarak kabul edilip bu sıcaklık değerinde de simülasyon yapılmıştır. Isıtma modunda cihazın açık konumda ek elektrikli ısıtıcının performansa etkisi dikkate alınarak hesaplanan SCOP_{on} değeri ve ek elektrikli ısıtıcının cihaz performansına etkisinin dikkate alınmadığı SCOP_{net} değerlerinin hesaplanması iki tablo halinde Tablo 13 ve Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 13. R-32 – SCOP_{on} ve SCOP_{net} Hesap Tablosu

Zorunlu test noktaları	j	Dış ortam sıcaklığı [°C]	Operasyon saati hj	Kısmi yük oranı [%]	Isı yükü ihtiyacı [kW]	Cihaz kapasitesi [kW]	COP (T _j)
TOL	21	-10	1	100.00	82.39	53.90	2.62
	22	-9	25	96.15	79.22	55.34	2.66
	23	-8	23	92.31	76.05	56.79	2.71
A	24	-7	24	88.46	72.88	58.23	2.76
	25	-6	27	84.62	69.71	59.94	2.82
	26	-5	68	80.77	66.55	61.66	2.88
T_{biv}	27	-4	91	76.92	63.38	63.38	2.94
	28	-3	89	73.08	60.21	60.21	3.01
	29	-2	165	69.23	57.04	57.04	3.08
	30	-1	173	65.38	53.87	53.87	3.15
	31	0	240	61.54	50.70	50.70	3.23
	32	1	280	57.69	47.53	47.53	3.30
B	33	2	320	53.85	44.36	44.36	3.37
	34	3	357	50.00	41.19	41.19	3.62
	35	4	356	46.15	38.03	38.03	3.88
	36	5	303	42.31	34.86	34.86	4.13
	37	6	330	38.46	31.69	31.69	4.39
C	38	7	326	34.62	28.52	28.52	4.64
	39	8	348	30.77	25.35	27.76	4.58
	40	9	335	26.92	22.18	27.01	4.51
	41	10	315	23.08	19.01	26.25	4.45
	42	11	215	19.23	15.84	25.50	4.38
D	43	12	169	15.38	12.68	24.74	4.32
	44	13	151	11.54	9.51	23.99	4.26
	45	14	105	7.69	6.34	23.23	4.19
	46	15	74	3.85	3.17	22.47	4.13

4910

Tablo 14. R-32 – SCOP_{on} ve SCOP_{net} Hesap Tablosu-Devamı

Zorunlu test noktaları	Ek elektrikli ısıtıcı	Yıllık ısıtma ihtiyacı	Yıllık elektrikli ısıtıcılı güç tüketimi	Cihaz tarafından karşılanan yıllık ısıtma ihtiyacı	Yıllık elektrikli ısıtıcısız güç tüketimi
	[kW]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
TOL	28.49	82	49	54	21
	23.88	1981	1116	1384	519
	19.27	1749	925	1306	482
A	14.66	1749	858	1397	507
	9.77	1882	838	1618	574
	4.89	4525	1789	4193	1457
Tbiv	0.00	5767	1963	5767	1963
	0.00	5358	1780	5358	1780
	0.00	9411	3054	9411	3054
	0.00	9320	2955	9320	2955
	0.00	12168	3772	12168	3772
	0.00	13309	4036	13309	4036
B	0.00	14196	4213	14196	4213
	0.00	14707	4058	14707	4058
	0.00	13537	3490	13537	3490
	0.00	10562	2555	10562	2555
	0.00	10457	2383	10457	2383
C	0.00	9297	2003	9297	2003
	0.00	8822	1927	8822	1927
	0.00	7431	1646	7431	1646
	0.00	5989	1346	5989	1346
	0.00	3406	777	3406	777
D	0.00	2142	496	2142	496
	0.00	1435	337	1435	337
	0.00	665	159	665	159
	0.00	234	57	234	57
		170185	48585	168169	46569
	SCOP_{on}	3.50285		SCOP_{net}	3.61121

Isıtma sezonunda termostat kapalı konumdaki, bekleme modundaki, karter ısıtıcı çalışırken toplam yıllık operasyon saatleri ve güç tüketim değerleri çarpılarak yıllık ek güç tüketim miktarları kWh cinsinden hesaplanarak Tablo 15’de gösterilmiştir.

Tablo 15. R-32- Isıtma Ek Güç Tüketimleri

	Güç [W]	Yıllık saat [h]	Yıllık tüketim [kWh]
P _{to}	0.72	179	129.60
P _{sb}	0.17	0	0
P _{ck}	0.32	179	57.28
P _{off}	-	0	0

Cihaz dizayn kapasitesi daha önce 82.39 kW olarak belirtilen yük, ortalama iklim bölgesi ısıtma sezonu için yıllık çalışma saati değeri ile birlikte (8) numaralı eşitlikte yerlerine konularak yıllık ısıtma yükü 115345 kWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Q_h, SCOP_{on} ve yıllık ek enerji tüketim değerleri (7) numaralı SCOP hesaplama eşitliği kullanılarak R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima sisteminin simülasyonlarından elde edilen verilerle EN 14825 standardına göre yıllık ısıtma verimlilik değeri hesaplandığında SCOP değeri 3.483 olarak hesaplanmıştır. R-410A ve diğer alternatif soğutucu akışkanlardan R-452B ve R-454B için de aynı hesaplamalar yapılmış olup, R-32 soğutucu akışkanlı sistemin SCOP değerinin diğerlerinden daha fazla olduğu hesaplanmıştır.

3.4. Tartışma

Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre SEER, SCOP, kapasite ve şarj miktarı verileri Tablo 16'da gösterilmiştir. Bu verilere göre tüm soğutucu akışkanlarda soğutma sezonsal verimlilik değerlerinin 3.2 olan Tier 2 sınırının üstünde olduğu görülmektedir.

Isıtma sezonsal verimliliklerine bakıldığında ise hiçbir soğutucu akışkan için Tier 2 sınır değeri olan 3.53 değeri yakalanamamıştır. Ancak en yakın değer 3.4831 ile R-32 soğutucu akışkanı ile elde edilmiştir. Buna rağmen tüm modellerde Tier 1 sınır değeri olan 3 SCOP değerinin üstüne çıkmıştır.

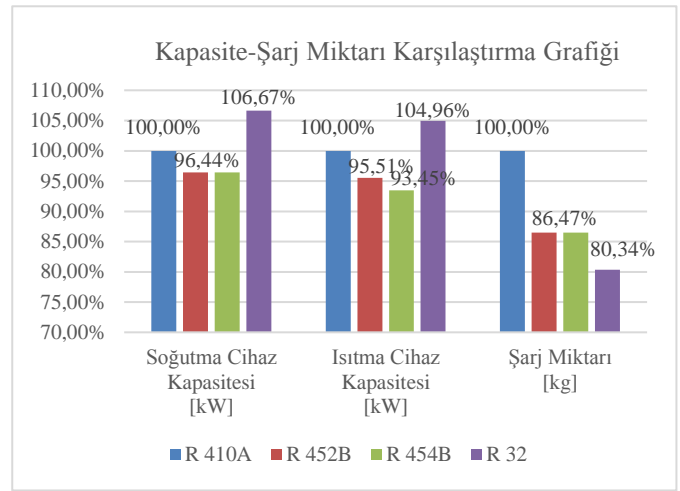
Tablo 16. Verimlilik Karşılaştırması

	SEER	SCOP	Soğutma cihaz kapasitesi [kW]	Isıtma cihaz kapasitesi [kW]	Şarj miktarı [kg]
R- 410A	4.0640	3.3465	74.188	78.49	26.612
R- 452B	4.0394	3.3664	71.544	74.97	23.012
R- 454B	4.0398	3.2975	71.544	73.35	23.010
R- 32	4.2158	3.4831	79.134	82.39	21.38

SEER değerlerine bakıldığında yine en yüksek verimliliğin R-32 soğutucu akışkanı ile elde edildiği gözlemlenmiştir. İkinci sırada ise R-410A soğutucu akışkanı gelmektedir. R-454B ve R-452B soğutucu akışkanlı modellerle elde edilen SEER değerleri hemen hemen aynı olmakla beraber R-454B soğutucu akışkanının SEER değeri çok küçük bir farkla R-452B değerinden büyük bulunmuştur. SCOP değerlerine bakıldığında R-32 soğutucu akışkanı için en yüksek ısıtma sezonsal verimlilik değeri elde edilmiştir. R-452B soğutucu akışkanlı modelin SCOP değeri R-410A soğutucu akışkanlı modelle elde edilen SCOP değerinin çok az fazladır. Son sırada ise R-454B soğutucu akışkanı için elde edilen SCOP değeri gelmektedir.

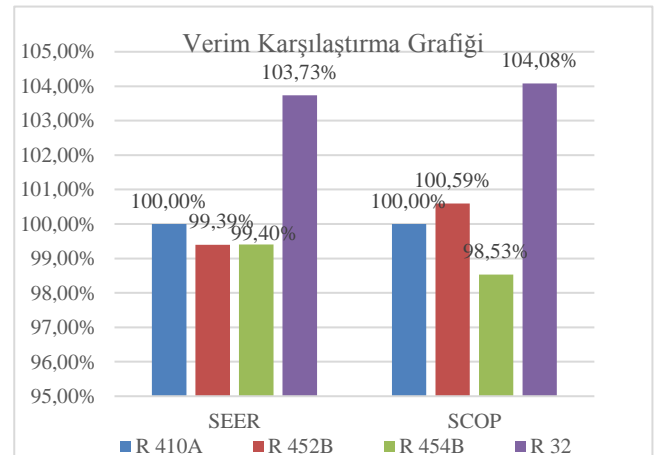
Soğutma kapasite miktarlarına bakıldığında ise en yüksek kapasite R-32 soğutucu akışkanı ile elde edilmiş, onu R 410A soğutucu akışkanlı model izlemektedir. R-452B ve R-454B soğutucu akışkanları ile elde edilen kapasite miktarları ise eşit bulunmuştur. Isıtma kapasitelerine bakıldığında ise en yüksek kapasite yine R 32 soğutucu akışkanlı modelde elde edilmiştir. Sonraki sıralama ise R 410A, R 452B ve R 454B şeklindedir. Şarj miktarları karşılaştırıldığında ise en az soğutucu akışkan R-32 soğutucu akışkanlı modelde kullanılmıştır. R-454B soğutucu akışkanlı modelde R- 452B soğutucu akışkanlı modelden çok az bir farkla daha az soğutucu akışkan miktarı kullanılmıştır. En çok soğutucu akışkan miktarının R 410A soğutucu akışkanlı modelde kullanıldığı hesaplanmıştır.

Şekil 1'de ise modellerin soğutucu akışkan miktarları ile ısıtma ve soğutma kapasiteleri R-410A soğutucu akışkanlı model referans alınarak karşılaştırılmıştır. Optimum şarj miktarlarında soğutma kapasiteleri karşılaştırıldığında R-32 soğutucu akışkanlı sistemin soğutma kapasitesinin R-410A soğutucu akışkanlı sistemin soğutma kapasitesinden %6.67 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. R-454B ve R-452B soğutucu akışkanların soğutma kapasitelerinin ikisinin de R 410A soğutucu akışkanlı sistemin soğutma kapasitesinden %3.56 daha az olduğu bulunmuştur.



Şekil 1. Soğutucu Akışkanların Şarj Miktarı Karşılaştırması

Şekil 2'de ise sistemlerin SEER ve SCOP değerleri R-410A soğutucu akışkanlı sistem referans alınarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. Soğutucu Akışkanların Sezonsal Verimliliklerinin Karşılaştırması

Optimum şarj miktarlarında sistemlerin ısıtma kapasiteleri karşılaştırıldığında R 32 soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesinin R 410A soğutucu akışkanlı

sistemin ısıtma kapasitesinden % 4.96 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. R 452B soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesi ise R 410A soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesinden %4.49 daha az olduğu gözlemlenmiştir. R 454B soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesi ise R 410A soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesinden %6.55 daha az olarak hesaplanmıştır.

Şarj miktarlarına bakıldığında ise R-32 soğutucu akışkanının şarj miktarı R-410A soğutucu akışkanlı sistemin şarj miktarına göre %19.66 daha azdır. R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlerin şarj miktarları R-410A soğutucu akışkanlı sistemin şarj miktarı ile karşılaştırıldığında %13.53 daha az görülmektedir.

SEER değerlerine bakıldığında R-32 soğutucu akışkanlı sistemin R 410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %3.73 daha verimli olduğu hesaplanmıştır. R-452B ve R-454B soğutucu akışkanların SEER değerleri birbirine çok yakın olmakla birlikte R-410A soğutucu akışkanlı sistem ile karşılaştırıldıklarında R-452B soğutucu akışkanlı sistemin %0.61, R-454B soğutucu akışkanlı sistemin ise %0.6 daha az verimliliğe sahip oldukları görülmektedir.

SCOP değerleri karşılaştırıldığında R-32 soğutucu akışkanlı sistemin R-410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %4.08 daha verimli olduğu bulunmuştur. R-452B soğutucu akışkanlı sistem ise %0.59 oranla, R-410A soğutucu akışkanlı sistemden daha verimlidir. R-454B soğutucu akışkanlı kullanılan sistemin verimliliğinin ise R 410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %1.47 daha düşük olduğu hesaplanmıştır.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada R-410A soğutucu akışkanlı çatı tipi kliması sistemlerinde kullanılabilir GWP değeri düşük alternatif soğutucu akışkanlardan R-452B, R - 454B ve R-32'nin performans verileri teorik olarak incelenmiştir. Öncelikle belirtmek gerekir ki alternatif soğutucu akışkanların tümünün yanıcılık sınıfları R-410A soğutucu akışkanından daha kötüdür. Dolayısıyla bu soğutucu akışkanlar kullanılırken gerekli güvenlik önlemleri sağlanmalıdır.

Modelleri kapasite yönünden değerlendirmek gerekirse R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlere dönüştürülürken cihaz kapasitelerinde bir miktar düşüş yaşandığı hesaplanmakla beraber bu düşüş değeri, en fazla olduğu sistemde yaklaşık olarak %6.55'tir. Öte yandan R-32 soğutucu akışkanlı sistemde soğutma kapasitesinde %6.67, ısıtma kapasitesinde ise %4.96 artış sağlanmıştır.

Şarj miktarları yönünden bakıldığında tüm alternatif soğutucu akışkanlarla soğutucu akışkan şarj miktarlarında azalma sağlanmıştır. R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlerde %13.53 soğutucu akışkan miktarında azalma elde edilmekle beraber en

büyük azalma R-32 soğutucu akışkanlı sistemde %19.66 oranında hesaplanmıştır.

SEER değerleri karşılaştırıldığında R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlerde bir miktar verimlilik düşüşü yaşanmakla beraber bu oranlar sırası ile % 0.61 ve % 0.6'dır. R-32 soğutucu akışkanlı sistem ile ise % 3.73 oranında verimlilik artışı hesaplanmıştır. SCOP yönünden karşılaştırıldığında verimlilik düşüşü sadece R-454B soğutucu akışkanlı sistemde gözlenmekle beraber bu oran % 1.47'dir. R-452B soğutucu akışkanlı sistemle % 0.59 ve R-32 soğutucu akışkanlı sistem ile ise %4.08 oranında verimlilikte artış hesaplanmıştır.

R-452B soğutucu akışkanına bakıldığında kapasite yönünden R-454B soğutucu akışkanına ısıtma modunda % 2.06 oranında üstünlük sağlanmasına rağmen GWP değerleri karşılaştırıldığında ise R-454B soğutucu akışkanının GWP değeri R 452B'nin GWP değerinden % 31 daha düşüktür. SEER değeri yönünde son sırada olmakla beraber R-454B soğutucu akışkanlı sistem ile arasındaki verimlilik farkı %0.01 olarak hesaplanmıştır. Ancak SCOP değerinde, R-410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %0.59 oranında daha verimli olmakla beraber, R-454B soğutucu akışkanlı sistemin SCOP değerinde R-410A soğutucu akışkanlı sistemin verimlilik değeri ile kıyaslandığında düşüş gözlemlendiği için SCOP yönünden, en azından R-454B soğutucu akışkanına göre daha iyi bir alternatiftir. R-454B soğutucu akışkanı R-410A soğutucu akışkanından yaklaşık %76 daha az GWP değerine sahiptir. Kapasite olarak R-410A'dan soğutma modunda %3.56 ve ısıtma modunda %6.55 daha düşüktür. Soğutucu akışkan miktarındaki R-410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %13.53 oranındaki düşüş de dikkate alındığında R-454B soğutucu akışkanı da önemli bir alternatiftir.

R-32 soğutucu akışkanının sonuçları incelendiğinde ise kapasitede artış gözlemlenmiş ve bu kapasite artışı aynı zamanda tüm modeller arasında en az soğutucu akışkan şarj miktarı ile elde edilmiştir. Ayrıca SEER değerinde artış sağlanan tek model olan R-32, SCOP değerlerinde de en büyük verimlilik artışı sağlayan soğutucu akışkan olmuştur. R-32 GWP değeri R-410A ile karşılaştırıldığında yaklaşık %65 daha az, R-454B soğutucu akışkanı GWP değeri ile karşılaştırıldığında ise yaklaşık olarak aynı değere sahiptir.

Sonuç olarak akışkan şarj miktarı, kapasite, SEER ve SCOP açısından değerlendirme yapıldığında R-410 için en uygun alternatif soğutucu akışkanın R-32 olduğu görülmektedir. Ancak yanıcılık özelliğinden dolayı EN 378 belirtilen akışkan şarj kriterlerine göre gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Commission Regulation (EU) 2016/2281 of 30 November 2016 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of

- the Council establishing a framework for setting of ecodesign requirements for energy-related products, with regard to ecodesign requirements for air heating products, cooling products, high temperature process chiller and fan coil units, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32016R2281>, 28 Temmuz 2020.
- [2] Regulation (EU) No 517/2014 of The European Parliament And of The Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2016, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0517>, 28 Temmuz 2020.
- [3] Cremaschi, L., Wu, X., Biswas, A., Deokar, P., Experimental study of compressor operating characteristics and performance when using refrigerants R32, R1234yf, and two new low GWP developmental refrigerants as drop-in replacements for R410A, Institution of Mechanical Engineers - 8th International Conference on Compressors and Their Systems, Institution of Mechanical Engineers - 8th International Conference on Compressors and Their Systems, 2013, 57-66.
- [4] Ng W., Kamar H., Kamsah N. ve Wang F.-J., Performance analysis of low GWP refrigerants mixture as a substitute for R 410A in residential air conditioner in tropical region, IPO Conf. Series: Earth and Environmental Science, 268. Sayı, 2019.
- [5] Devecioglu, A., Seasonal performance assessment of refrigerants with low GWP as substitutes for R 410A in heat pump air conditioning devices, Applied Thermal Engineering, 125. Sayı, 2017, 401-411.
- [6] Alabdulkarem, A., Eldeeb, R., Hwang, Y. ve Radermacher, R., Testing, simulation and soft optimization of R 410A low-GWP alternatives in heat pump system, International Journal of Refrigeration, 60. Sayı, Aralık 2015, 106-117.
- [7] Han, X.-H., Qiu, Y., Li, P., Xu, Y.-J., Wang, Q. ve Chen, G.-M., Cycle performance studies on HFC-161 in small-scale refrigeration system as an alternative refrigerant to HFC-410A Energy and Buildings, 44. Sayı, Ocak 2012, 33-38.
- [8] Longo G., Mancin S., Righetti G. ve Zilio C., HFC32, a low GWP substitute for HFC410A in medium size chillers and heat pumps, University of Padova, International Journal of Refrigeration, 53. Sayı, 2015, 62-65.
- [9] Belchi, A. ve Gomez, F., Evaluation of a condenser based on mini-channels technology working with R 410A and R 32. Experimental data and performance estimate, Applied Energy, 202. Sayı, 15 Eylül 2017, 112-124.
- [10] Giovanni L., Simone M., Giulia R. ve Claudio Z., Saturated vapour condensation of R 410A inside a 4 mm ID horizontal smooth tube: Comprison with the low GWP substitute R32, International Journal of Heat and Mass Transfer, 125. Sayı, 2018, 702-709.
- [11] Onat, A., İmal, M., İnan A.T., (2004) Soğutucu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Alternatif Soğutucu Akışkanlar, K.S.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi 7(1), 2014
- [12] NF EN 14825, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance, https://www.en-standard.eu/bs-en-14825-2018-air-conditioners-liquid-chilling-packages-and-heat-pumps-with-electrically-driven-compressors-for-space-heating-and-cooling-testing-and-rating-at-part-load-conditions-and-calculation-of-seasonalperformance/?gclid=EAIaIQobChMI3oiU043w6gIV1-5RCh26cw3GEAAYASAAEgJ2_vD_BwE, 28 Temmuz 2020.
- [13] RS/6/C/007-2019, Rating Standard for the Certification of Rooftop, <https://www.eurovent-certification.com/sites/default/files/2019-05/RS-6C007-2019%20RT.pdf>, 28 Temmuz 2020.